

Siegfried Turowski*

Schwermetalluntersuchungen am Schwarzbach im Spessart unter Berücksichtigung der Geologie des Lochborn von Bieber mit seiner Bergbaugeschichte

Kurzfassung

Zwischen Februar und August 1997 wurden Untersuchungen am Schwarzbach im Spessart durchgeführt. Dabei wurden erhöhte Arsengehalte festgestellt, die auf die frühere Bergbautätigkeit (von 1494– 1925) in diesem Gebiet zurückzuführen sind.

Direkt an der Quelle des Schwarzbaches wurde ein sehr ionenarmes Wasser mit geringer Leitfähigkeit angetroffen, wie es für Wässer des Spessarts typisch ist. Es handelt sich hierbei um Erdalkali-Sulfat-Buntsandsteinwässer.

Die Meßwerte im Quellwasser des Schwarzbaches sind denen der anderen Spessartquellen, die gleichen geologischen Horizonten entspringen, sehr ähnlich.

Anthropogene Einleitungen in den Schwarzbach sind aufgrund der Topographie und der Tatsache, daß er in seinem Oberlauf durch ein Naturschutzgebiet fließt, in der Oberen Hälfte seines Verlaufs auszuschließen. Dort können nur geogene Ursachen oder die Überreste früherer Tätigkeiten des Menschen zu einem Schadstoffeintrag beitragen.

Aus den zwischen Februar und August 1997 sowie im Oktober 1994 im Bachwasser des Schwarzbaches bestimmten Gehalten kann, zumindest im unteren Bereich, auf ständig erhöhte Arsengehalte geschlossen werden. Dies untermauern auch Meßwerte in Eluaten und Aufschlüssen von Waldboden und Bachsediment. Daß die schwarzen Oxid-/Hydroxidkrusten, die sich auf fast allen Steinen im Bachlauf finden lassen, ebenfalls hohe Gehalte an Arsen enthalten, stützt diese Überlegung besonders.

Abstract

Heavy metal probing of the Schwarzbach water in the Spessart (Germany) between February and August 1997 indicated high contents of arsenic. This contamination can be traced back to mining activities in the time between 1494 and 1925.

The orebody „Lochborn von Bieber“ has been mined for iron, manganese, cobalt, lead, silver and copper during several periods.

At the spring, the Schwarzbach

still shows a low ion content, as it is typical for Spessart waters, comparable to that of other springs in the same geological formation.

An anthropological discharge of waste water as cause of the contamination is very unlikely, as the upper half of the Schwarzbach lies in a protected area, without any villages or industries. The comparison of the present observations with those of an earlier measuring campaign in

October 1994 showed that the arsenic content remained at a constantly high level. Therefore, the former mining activity is the only possible source of the contamination. This thesis is confirmed by findings of arsenic in alluvial sediments and soil cuts. Additionally, the black coatings which are found on most of the stream pebbles, are rich in arsenic too.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	16
2. Material und Methoden	17
3. Daten der Beprobung und klimatische Bedingungen	18

* Dipl.-Min. S. Turowski, BIO-DATA GmbH, 35440 Linden

4. Heutiger Zustand	19
5. Quellhorizonte	20
6. Darstellung und Interpretation der Meßergebnisse	21
6.1 Wasserproben	21
6.1.1 Beschreibung und Interpretation der pH-Eh-Diagramme	23
6.1.2 Vergleich der pH-Eh-Werte mit den Stabilitätsdaten im System As-O-H	23
6.1.3 Wiesbüttensee	25
6.2 Beschreibung der Boden- und Gesteinsproben	25
6.2.1 Meßergebnisse der Boden- und Gesteinsproben	25
7. Zusammenfassung und Ausblick	27
8. Schriftenverzeichnis	35

1. Einleitung

Der Lochborn von Bieber liegt im nördlichen Hochoder Buntsandsteinspessart. Das tief eingeschnittene Tal wird vom Schwarzbach, früher „Schwarze Bach“ genannt, durchflossen und ist von z.T. über 500 m hohen Bergkuppen umgeben. Der Schwarzbach entspringt auf einer Höhe von 380 m ü. NN und fließt in etwa nordwestlicher Richtung dem Ort Bieber zu, hinter welchem er auf 210 m Meereshöhe in den Bieberbach mündet. Bei einer Länge von 5,4 km hat er ein durchschnittliches Gefälle von 3,5 %.

Der im Spessart vorherrschende Buntsandstein bildet bei der Verwitterung nur nährstoffarme Böden mit geringer Lößlehmauflage. Der darunterliegende Bröckelschiefer gibt dagegen bindige Böden, die ein gutes Wasserhaltevermögen besitzen. Dies ist ein Grund dafür, daß Ackerbau nur im unteren Bereich der Berghänge zu finden ist, wogegen die Höhen mit Wald bestanden sind. Der Waldanteil beträgt etwa 70 % der Fläche. An Stellen, an denen der Wald in der Vergangenheit durch Rodung oder Viehtrieb übermäßig beansprucht wurde, entstanden Heidelandschaften (Mollenhauer 1986; vgl. Binnewies 1986a, b+c).

Die Jahresniederschlagsmenge ist mit 900–1000 mm hoch, das Klima ist subatlantisch getönt (Binnewies, 1986b). Heute existieren im Spessart zwei Naturschutzgebiete: der „Lochborn von Bieber“ und das „Wiesbüttmoor“, das einzige Hochmoor im Spessart.

Die kristallinen Gesteine des Spessarts und ihr sedimentäres Deckgebirge, das bis in den Mittleren Buntsandstein reicht (vgl.: Bücking 1891a+b, Freymann 1991, Schwarzmeier & Weinelt 1993, Sabel 1996), sind von Gängen durchzogen. Durch die bei tektonischen Vorgängen geöffneten Wegsamkeiten konnten hydrothermale Wässer aufsteigen, aus denen sich Baryt, Fluorit und Siderit abschieden. Die Kobaltgänge des Lochborner Kobaltrückens mit höheren Elementgehalten an Co, Ni, Bi und Cu entstanden möglicherweise auch durch Lösungsvor-

gänge in Letten des Zechstein und darauffolgende erneute Erzabscheidung in Klüften (Freymann 1991).

Kristallines Grundgebirge bzw. glimmerreiche schiefrige Gneise treten am südlichen Abhang des Burgberges zu Tage, darüber liegen im Lochborn Zechsteinkonglomerate (Grauliegendes), Kupferletten und Zechstein im engeren Sinne auf. Der Kupferletten ist 0,5–1,5 m mächtig und besteht aus zähen bituminösen braunen Letten. Als Erze sind Bleiglanz, Kupferkies und silberhaltiges Fahlerz in Adern oder größeren Erzknollen enthalten. Akzessorisch treten Arsenkies, Antimonglanz, Wismutglanz und Kobaltgänge auf (Bücking, 1891a+b, Freymann, 1991). In den Letten sind Erzgänge enthalten, die z.T. bis auf das kristalline Grundgebirge reichen und vor allem kobaltführend sind. Sie entsprechen Verwerfungsspalten und fallen mit 50–80° ein. Der reichste Gang des Bieberer Kobaltwerkes ist der „erste Lochborner Rücken“, der parallel zum Schwarzbachtal verläuft. Im Spessart treten von der Trias nur Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins auf (Bücking 1891a+b).

Wann die Erze der Kupferletten und die Eisenerzlager im Lochborn bei Bieber entdeckt wurden ist ebenso unklar wie der Beginn des Bieberer Bergbaus selbst. Die erste urkundliche Erwähnung findet sich in Kammerakten von Kurmainz und Hanau aus dem Jahre 1494. Endgültig eingestellt wurde der Bergbau im Jahre 1925 (vgl. Cancrin 1787, Hofmann 1969 und 1986, Mollenhauer 1996).

Da die Region des Lochborn von Bieber, der vom Schwarzbach durchflossen wird, seit 1494 in unterschiedlicher Weise bergbaulich genutzt wurde – es wird sogar vermutet, daß schon die Kelten am Burgberg nach Metallen schürften – interessierten die Schwermetallgehalte des Bachwassers. Am wichtigsten waren die Arsengehalte, da Arsen in sulfidischen Erzen häufig auftritt, den Schwefel leicht ersetzen kann oder gemeinsam mit dem Schwefel Sulfosalze bildet.

2. Material und Methoden

Im Zeitraum von Februar 1997 bis August 1997 wurde der Schwarzbach im Spessart (Abb. 1) dreimal beprobt. Dabei wurden insgesamt 234 Wasserproben (Schöpfproben) aus dem Bach und seinen Zuflüssen genommen; im Bachlauf aufgestaute oder natürliche Teiche sowie Brunnen wurden, soweit sie zugänglich waren, ebenfalls untersucht. Auch aus dem Wiesbüttensee und -moor wurde Wasser entnommen.

In den Wasserproben wurden vor Ort die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotential sowie die Wassertemperatur ermittelt. Danach erfolgte eine Stabilisierung mit Salpetersäure. Im Labor wurden später die Gehalte der Schwermetalle As, Ni, Cu, Cr, Pb, Hg, Cd, Zn, Co, Fe, Mn, Ag und Tl sowie Al und die Nährstoffe Ca, Mg, Na, K bestimmt.

Zur Absicherung der Ergebnisse wurden ein Stein aus dem Schwarzbach, Bodenproben am Standort des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpochwerks, ein Sandstein aus dem Su_2 -Horizont vom Burgberg und ein vererzter Quarz-Biotit-Glimmerschiefer auf ihre Schwermetall-Gehalte und die Art der Vererzung untersucht.

Ein Vergleich mit einigen Wasserproben, die im Oktober 1994 im Bereich des Pfandgraber Kobaltpochwerkes am Burgberg genommen wurden, ermöglicht eine Aussage über die Höhe der Schwermetall-Gehalte (SM-Gehalte) über einen längeren Zeitraum hinweg. Bezüglich der Quelle und der Quellwassergüte ist auch ein Vergleich mit einer Studie der Stadtwerke Frankfurt am Main möglich, die fünf andere Quellen im Bieberer Gebiet in den Jahren 1988–1995 systematisch untersuchten.

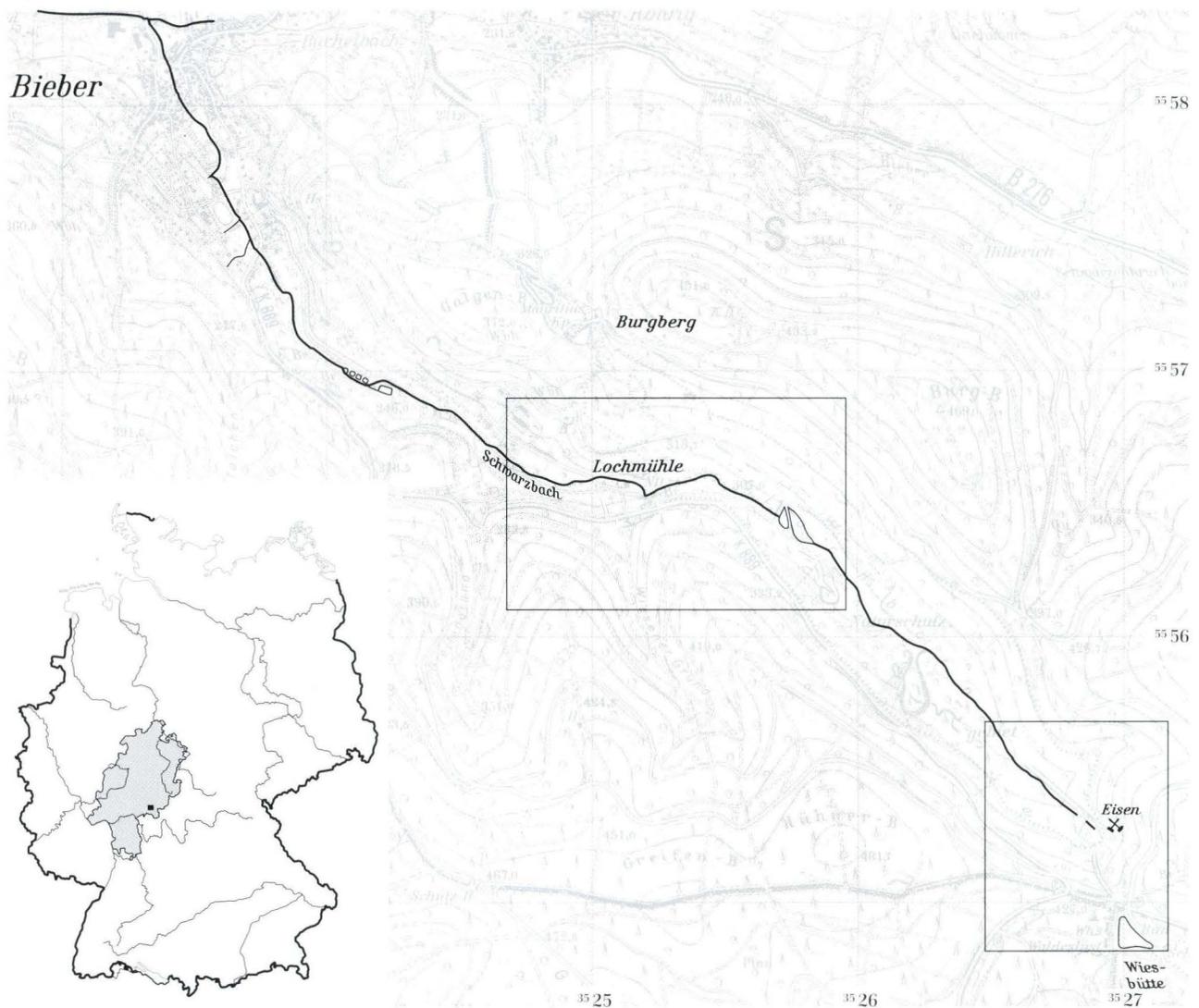


Abb. 1. Topographische Karte des Schwarzbaches (Maßstab 1 : 25 000).

Diese Quellen entspringen alle, wie der Schwarzbach, derselben geologischen Formation des Unteren Buntsandsteins.

Die Wasserproben wurden als Schöpfproben in PE-Flaschen genommen, die zuvor mit Wasser von derselben Stelle, an der danach die Entnahme erfolgte, ausgespült wurden, um Verunreinigungen zu vermeiden.

Bei Zuflüssen von Seitenbächen wurde jeweils eine Wasserprobe ca. 20 m oberhalb der Einmündung in den Schwarzbach, im zufließenden Bach ebenfalls etwa 20 m vom Zusammenfluß entfernt und eine dritte Probe etwa 50 m unterhalb des Zusammenflusses genommen. Hierbei wurde davon ausgegangen, daß sich die unterschiedlichen Bachwässer bis zur Probenahmestelle ausreichend vermischt und homogenisiert haben. Durch dieses Vorgehen wird eine genaue Aussage über die Elementgehalte des Schwarzbaches einerseits und die aus den Zuflüssen gelieferten Beiträge andererseits erhalten. Bei einigen Seitenbächen wurden bachaufwärts weitere Wasserproben genommen.

Soweit dies möglich war, fand eine Probenahme auch an Brunnen, in Teichen und im anmoorigen Gelände statt. Die Probenahmepunkte richteten sich nach der Zugänglichkeit des Geländes, der Anzahl und Lage der Seitenbäche, Teiche und Brunnen sowie der Bebauung. In den Bereichen, in denen nach alten Karten Bergbau umging und deshalb erhöhte Gehalte zu erwarten waren, wurden die Abstände zwischen den Punkten möglichst klein gewählt, um eine genauere Aussage zu erhalten.

Die Bodenproben wurden mit einem PE-Gefäß genommen und zum Transport in Plastiktüten verpackt. Nach der Bestimmung der Feldparameter wurden die Wasserproben sofort mit 1 ml konz. HNO_3 /100 ml Probe stabilisiert. Dies wurde ohne vorheriges Filtrieren durchgeführt, da die Wasserproben klar waren und keine sichtbare Trübung oder Partikel enthielten.

Die Parameter pH-Wert, Redox-Potential (Eh-Wert), Leitfähigkeit und Wassertemperatur wurden mit Feldmeßgeräten noch vor Ort bestimmt. Dabei kamen mobile Geräte (WTW pH 90 und WTW LF 90 und Greisinger GTH 1150) zum Einsatz.

Die Bestimmung der Schwermetalle und Nährstoffe erfolgte in den Labors der Fa. BIO-DATA GmbH in Linden. Die Messung der Elemente As und Hg wurden mit Hilfe des Hydridsystems MHS-10 und des Flammen-AAS-Gerätes 2380 (beide von der Fa. Perkin Elmer) durchgeführt.

Die Bestimmung von Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Tl und Ag erfolgte mit einem Graphitrohr-AAS-Gerät 2100 mit HGA 700 und Autosampler AS 70 (alle Perkin Elmer). Zn, Fe, Mn, Na, K, Ca und Mg wurden mit dem Flammen-AAS-Gerät 2380 bestimmt, die Elemente Al und Co mit einer ICP-OES 138 Ultrace (Fa. Jobin-Yvonne) gemessen.

Die Durchführung der Bestimmungen erfolgte nach den gültigen DIN-Normen (DIN 38 406, Teile 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 18, 19 und 22).

Die Boden- und Gesteinsproben wurden im luftgetrockneten Zustand gemörsert und gemahlen (Retsch Mörsermühle) und nach DIN 38 414 S7 mit Königswasser aufgeschlossen, anschließend auf 100 ml aufgefüllt und gemessen. Für die Bestimmung der Tl-Werte kam ein Salpetersäure-Mikrowellen-Druckaufschluß zur Anwendung (Platen et al. 1996). Dabei wurden 0,5–1 g der Probe mit 4 ml HNO_3 (65 %, $\rho = 1,49 \text{ g/cm}^3$, p.A.-Qualität, Merck, Darmstadt) in einer Labormikrowelle (Typ EM-5, 1200 Watt, HSL GmbH, Microwave Laboratory Systems, Büchi, Göppingen) in PTFE-Druckgefäßen aufgeschlossen. Anschließend wurde auf 10 ml aufgefüllt und der Rückstand abfiltriert.

Zur Bestimmung der eluierbaren Anteile der Schwermetalle im Feststoff wurde dieser 24 Stunden mit deion. Wasser (Verhältnis Boden/Gestein zu deion. Wasser = 1:10) geschüttelt und anschließend abfiltriert. Die Meßwerte sind in mg(Schwermetall)/l Eluat angegeben.

Der Boden-pH-Wert wurde nach DIN 19 684, Teil 1 als pH(CaCl_2) in 0,1 M CaCl_2 -Lösung mit einem pH-Meter (Microprozessor pH-Meter, pH 535, Multi-Canal, WTW) mit einer Glaselektrode bestimmt.

Die Bestimmung der Trockensubstanz (= Trockenrückstand) wurde nach DIN 18 128 durchgeführt, die Ermittlung des Glührückstandes nach DIN 19 684, Teil 3.

3. Daten der Beprobung und klimatische Bedingungen

Es wurden drei Probenahmen durchgeführt, bei denen jeweils an etwa 70 Stellen Wasserproben aus dem Schwarzbach und seinen Zuflüssen genommen wurden.

Die erste Beprobung fand am 22.2.97 statt, eine Nachbeprobung im Quellbereich des Schwarzbaches am 8.3.97. Diese Probenahmen erfolgten wenige Tage nachdem der letzte Schnee geschmolzen war; während dieser Zeit fielen reichliche Niederschläge, so daß der Boden

oberflächlich sehr sumpfig und der Schwarzbach sowie alle Seitenbäche und Teiche gut gefüllt waren. Da zuvor etwa 6 Wochen strenger Frost herrschte und der Boden, nach Angaben von Anwohnern, je nach Lage zwischen 30 und 50 cm tief gefroren war, handelt es sich bei den Wasserproben hauptsächlich um oberflächliche Abflüsse, vor allem von Regen- und Schmelzwasser. Im Bereich der sumpfigen Seitenwiesen um den Schwarzbach war

nur durch die Tatsache, daß der Boden erst etwa 10–15 cm tief aufgetaut war, eine Begehung und Probenahme möglich. Einige Punkte konnten im Februar/März jedoch nicht beprobt werden, da das Gelände unzugänglich war.

Die zweite Probenahme wurde am 6.6.97 durchgeführt. Dabei wurden die Proben an denselben Stellen genommen wie bei der ersten Beprobung. Nachdem es im Mai viel regnete, gingen der Beprobung Anfang Juni etwa 10 Tage Trockenheit voraus. Zu diesem Zeitpunkt

4. Heutiger Zustand

Auch heute sind im Schwarzbachtal noch zahlreiche Zeugnisse des ehemals so vielfältigen Bergbaus zu finden (vgl. Abb. 1–3): Wenn man vom Wiesbüttensee, dem größten Kunstteich des Spessarts, in nordwestlicher Richtung in das Tal des Schwarzbaches geht, gelangt man wenige Meter unterhalb dessen Quelle zum Maschinenschacht des letzten Eisenerzbergbaus (1885–1925). Der Weg, auf dem man sich befindet, ist die Trasse, auf der zu dieser Zeit die Grubenbahn fuhr. Rechts dieses Weges befindet sich der eingestürzte Maschinenschacht, links sind, ebenfalls eingestürzt, Wetterschächte zu erkennen. Die Verbrüche beider Anlagen sind mit Wasser gefüllt. In den Wetterschächten verschwindet der Schwarzbach wieder und tritt erst ca. 120 m weiter unterhalb einer Aufschüttung wieder aus dem Waldboden aus (Abb. 2).

Etwa 50 m unterhalb der alten Schächte kann man links des Weges, am Unterrand einer Aufschüttung einen Stolleneingang erkennen. Die Bahntrasse, die im weiteren Verlauf als Damm aufgeschüttet ist, führt zwischen den Schachtpingen und Halden des Kobalt-Bergbaus auf der rechten Seite und den Pingenfeldern des Lochborner Lettenwerks links hindurch, vorbei am ehemaligen Lettenpochwerk, zum Lochborner (Kunst-)Teich. Dieser Teich (Abb. 3), der früher für die Lochborner Kettenkunst angelegt und später für die Kobaltwerkskunst verwendet wurde, ist heute in einen großen und einen kleinen Teil getrennt. Zwischen beiden verläuft ein Damm, auf dem die Spessartbahn in einer Kehre zum Burgberg geführt wurde (Rekonstruktion von Bindseil in: Senzel 1994, Freymann 1991).

Weiter bachabwärts kann man rechts ein ausgedehntes Haldengebiet am Burgberg erkennen. Links endete der Radstuber-Stollen (Unterer Koboltsstollen). Ebenfalls links befanden sich das Lochborner Lettenpochwerk und die Radstube der ersten Kobaltwerks-Kunst (Freymann 1991).

Unterhalb eines Bauernhofes gelangt man im Wald zum Standort des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpoch-

werkes, das sich rechts des Baches befand. Vorbei am Sanatorium kommt man zu Fischteichen, bei dem obersten, größten, handelt es sich um den ehemaligen Hüttenwehrteich (vgl. Abb. 1 und 6). Wenn man dem Feldweg folgt, gelangt man zum Ort Bieber. Dort befand sich in der Nähe des heutigen Fußballplatzes die Schmelz, der frühere Standort des Hochofens, noch früher der Ort der Metallerzhütte. Die Schlacken der Hütten liegen unter dem geteerten Parkplatz gegenüber dem ehemaligen Werksgelände (Freymann 1991).

führten einige im Februar bzw. März beprobte Rinnsale (vor allem am Standort des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpochwerkes) kein Wasser, so daß hier eine Beprobung unmöglich war.

Die dritte und letzte Beprobung erfolgte am 20.8.97. Etwa 14 Tage vor der letzten Beprobung fielen im Gebiet des Schwarzbaches keine Niederschläge. Deshalb kann davon ausgegangen werden, daß es sich bei den Bachwässern hauptsächlich um Quell- und Grundwasser sowie um Abfluswasser aus Halden handelt.

werks, das sich rechts des Baches befand. Vorbei am Sanatorium kommt man zu Fischteichen, bei dem obersten, größten, handelt es sich um den ehemaligen Hüttenwehrteich (vgl. Abb. 1 und 6). Wenn man dem Feldweg folgt, gelangt man zum Ort Bieber. Dort befand sich in der Nähe des heutigen Fußballplatzes die Schmelz, der frühere Standort des Hochofens, noch früher der Ort der Metallerzhütte. Die Schlacken der Hütten liegen unter dem geteerten Parkplatz gegenüber dem ehemaligen Werksgelände (Freymann 1991).

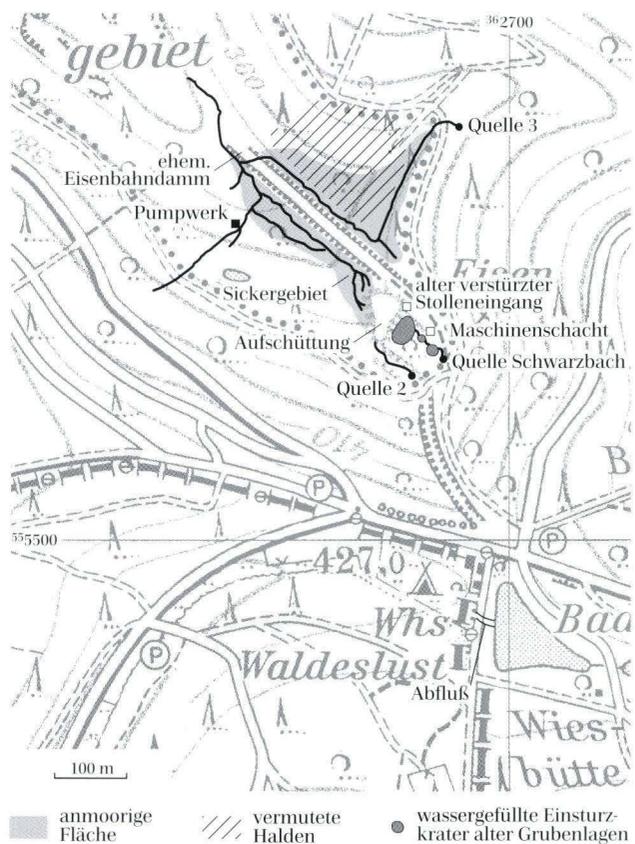


Abb. 2. Ausschnittvergrößerung des Quellbereichs des Schwarzbaches mit alten Schachtanlagen (Maßstab 1:4000).

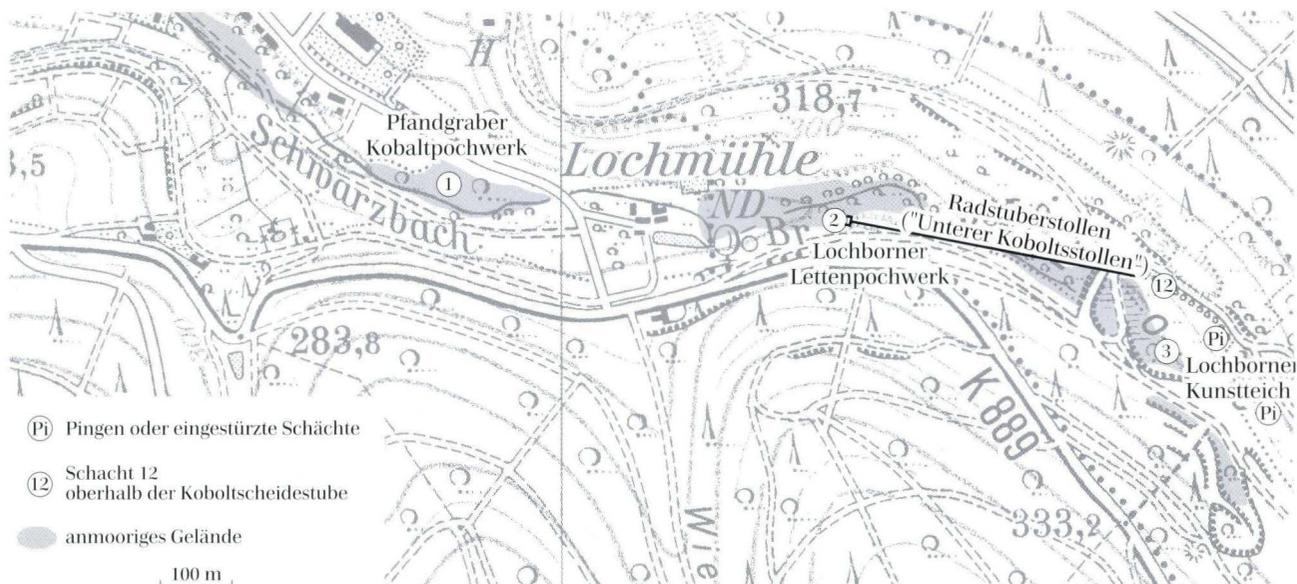


Abb. 3. Ausschnittvergrößerung des Bereiches Lochmühle-Burgberg mit rekonstruierten Aufbereitungsanlagen und Stollenmündlöchern (Maßstab 1:5 400).

5. Quellhorizonte

Ursprünglich waren im Spessart gering mineralisierte Erdalkali-Hydrogencarbonat-Quellwässer anzutreffen, die sich bis heute in Erdalkali-Sulfat-Buntsandsteinwässern verändert haben. Diese Veränderung betrifft vor allem die schwach gepufferten Quellwässer der kalkarmen Buntsandsteingebiete (Abke et al. 1996).

Der ergiebigste Quellhorizont des nördlichen Spessarts liegt an der Oberkante des Bröckelschiefers, der mit Ton- und Schluffsteinen als wasserstauende Schicht fungiert. Geologisch befindet sich hier auch die Quelle des Schwarzbaches (am Übergang vom Bröckelschiefer zum feinkörnigen Sandstein). Die Zerklüftung der grundwasserleitenden Buntsandsteinschicht ist intensiv, so daß ein rascher Abfluß oberflächennahen Grundwassers begünstigt wird. Die geringe Verweildauer zieht eine geringere Menge geogenen Lösungsinhalts nach sich (Abke et al. 1996). Da das Quellwasser im Spessart sehr mineral- und nährstoffarm ist, ist es chemisch leicht veränderbar.

Saure Böden aus silikatischen Ausgangsgesteinen sind charakteristisch für die Waldstandorte im Spessart, von Natur aus sind sie arm an basisch wirksamen Kationen (vor allem Mg, Ca) und haben eine geringe Puffer-, Austausch- und Adsorptionskapazität (Abke et al. 1996). Bei Ca- und Mg-armen Bodentypen, wie sie sich auf Buntsandstein bilden, zeigen sich auch die negativen Begleiterscheinungen von Kalkungen (die ja der Bodenversauerung entgegenwirken sollten) besonders deutlich.

So ist z.B. Humusschwund zu beobachten, dadurch werden von Sickerwässern Nitrate ausgewaschen. Die Folge davon kann auch eine Mobilisierung von Schwermetallen sein (Abke et al. 1996). Als zusätzliches Problem stellt sich im Spessart die Aufforstung mit Fichten und Kiefern dar, da Nadelstreu von Fichten sehr harzreich ist und bei der Verrottung im Rohhumus Harz- und Huminsäuren entstehen, die zur Versauerung von Bachwasser und Böden beitragen (Mollenhauer 1986).

Bei Untersuchungen an den unten aufgeführten Quellen beobachteten Abke et al. (1996) daß sich Al^{3+} und SO_4^{2-} schüttungsparallel verhalten, d.h. etwa 2–3 Wochen verzögert tritt nach starken Niederschlägen eine Erhöhung der Gehalte auf. Dies entspricht nach ihren Überlegungen genau den geologischen Gegebenheiten.

Von den Stadtwerken Frankfurt/Main von 1988–1995 beprobte Spessartquellen:

- Alexander Scharff- (Frankfurt-) Quelle (1,7 km nordöstlich der Quelle des Schwarzbaches), hier beginnt eine der Fernwasserleitungen nach Frankfurt, die „Frankfurt-Quellwasserleitung“,
- Glasborn,
- Unterer Rinneborn (ca. 3,5 km nordnordwestlich der Ortsmitte Bieber und 1 km westlich des Gieserborns),
- Breite Ruheborn,
- Roh-Mischwasser Gieserborn (ca. 3 km nördlich von Bieber).

6. Darstellung und Interpretation der Meßergebnisse

6.1 Wasserproben (Tab. 1–4)

Der Quelle des Schwarzbaches entspringt ein sehr ionenarmes Wasser mit geringer Wasserhärte (< 4 mg Ca/l und < 2 mg Mg/l). Es sind mit Ausnahme von Eisen bei der Beprobung im März 1997 keine Schwermetallgehalte oberhalb der Grenzwerte der Trinkwasser-Verordnung festgestellt worden.

Oberhalb des ehemaligen Lochborner Kunstteiches wurden keine Belastungen des Bachwassers mit Arsen oder anderen Schwermetallen gefunden. Im Bereich des oberen Maschinenschachtes des letzten Eisenerzbergbaus und in den wassergefüllten eingestürzten Wetterschächten wurden geringe Mengen an Eisen (max. 0,23 mg Fe/l) nachgewiesen.

Unterhalb des Lochborner Kunstteiches konnten bei den Beprobungen an verschiedenen Stellen unterschiedlich hohe Belastungen mit Arsen festgestellt werden. Deshalb kann wohl davon ausgegangen werden, daß im gesamten Bereich unterhalb des Teiches, der heute in einen großen und einen kleinen Teich geteilt ist, mit einer Belastung zu rechnen ist.

Direkt unterhalb des kleinen Teiches konnte im Februar und Juni ein Zufluß zum Schwarzbach beobachtet und beprobt werden. Im August war das Rinnsal ausgetrocknet, dafür wurde eine kleine Quelle auf dem Weg selbst gefunden.

Der im Februar und Juni beprobte Zufluß läuft zunächst, bachabwärts schauend, links neben dem Lochborner Kunstteich in einem Graben neben dem Weg entlang, um diesen dann zu kreuzen und kurz unterhalb des Abflusses aus dem kleinen, unteren Teil des Kunstteiches in den Schwarzbach zu münden. In diesen Wasserproben konnten sehr hohe Gehalte an Al, Fe, Mn und Co bestimmt werden. Es könnte sich um einen geringen Abfluß aus dem ehemaligen Lettenstollen handeln. Nach alten Karten müßte dieser Stollen knapp oberhalb des ehemaligen Lochborner Kunstteiches links des Schwarzbaches enden. Damit wären auch die sehr hohen Gehalte an Co, Fe und Mn erklärbar. Die „Quelle“ auf dem Weg, die im August vorgefunden und beprobt wurde, ist unbelastet.

In einer Entfernung von 2,2–2,4 km von der Quelle ist

bei allen Beprobungen ein starker Anstieg der Arsengehalte (z.T. um den Faktor 100) festgestellt worden. Allerdings wurden zu den drei verschiedenen Zeitpunkten sehr unterschiedliche Gesamtgehalte bestimmt (Februar: 0,077 / Juni: 0,170 / August: 0,246 mg As/l, vgl. Abb. 12).

Bereits im Oktober 1994 wurden aus dem Schwarzbach zweimal Wasserproben an derselben Stelle unterhalb des Burgberges (R 35 2476, H 55 56 60) entnommen. Die erste Beprobung dieser Zeit fand ebenfalls nach längerer Trockenheit (wie im August 1997) statt und ergab Arsengehalte von 0,2 mg/l. Nach etwa einer Woche Regen sanken die Werte dort auf 0,13 mg As/l Bachwasser ab.

Bei der Beprobung im August 1997 wurden jedoch auch zwischen dem Lochborner Kunstteich und der oben beschriebenen Region am Burgberg deutlich erhöhte As-Gehalte festgestellt (zwischen 0,035 und 0,047 mg As/l).

In diesem Bereich traten im Februar/März nur ein und im Juni zwei Werte oberhalb des Grenzwertes der TrinkwV ($= 0,01 \pm 0,005$ mg As/l) auf. Es ist zu vermuten, daß es sich bei den höheren Gehalten im August um Sickerwässer aus den Halden auf der rechten Talseite des Schwarzbaches handelt.

Im August konnte ein Zufluß zum Schwarzbach von links (R 35 25 32, H 55 56 55, Nr. 9582) mit As-Gehalten von fast 0,3 mg/l beprobt werden. An dieser Stelle tritt sehr kaltes Wasser (9°C) aus einem Loch in einem Seitengraben des Schwarzbaches aus. Die Tatsache, daß sich in diesem „Loch“ nur Steine einer Kantenlänge $>$ etwa 5 cm aber weder Feinanteil noch Trübe befinden, deutet darauf hin, daß der Zustrom kontinuierlich mit großer Schüttung erfolgt. Dieses Wasser enthält die höchsten gemessenen Arsengehalte.

Nach ca. 50 m mündet dieser Zufluß in den Schwarzbach und erhöht dessen As-Gehalt zunächst auf 0,28 mg/l, um dann in der abschüssig rechts des Schwarzbaches gelegenen Wiese (sumpfiges Gelände) weiter zu verlaufen.

In einer Karte F.L. von Cancrins ist bereits 1787 eine Art „Bachkreuzung“ eingezeichnet (vgl. Abb. 4).

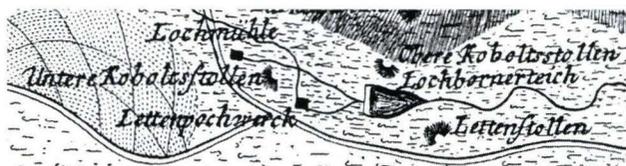


Abb. 4. Schwarzbach zwischen dem Lochborner Kunstteich und der Lochmühle (Cancrin 1787).

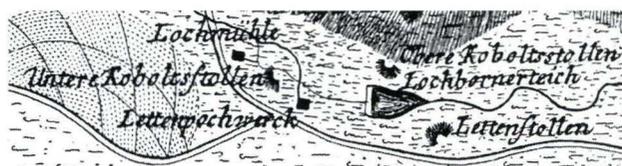


Abb. 5. Darstellung der heutigen Situation in derselben Karte wie in Abb. 4.

Möglicherweise handelt es sich dabei um einen Abfluß des unerwünschten Grubenwassers über den „Radstüberstollen“ (= Unterer Koboltsstollen). Vielleicht ist ein solcher Abfluß in die Talmitte sogar künstlich angelegt worden und stellt auch heute noch Wegsamkeiten für das Wasser dar. Dies könnte zumindest die niedrigen Arsengehalte und eine ungefähr gleichbleibende Wassermenge im Schwarzbach unterhalb dieses Zuflusses erklären.

Unterhalb des Bauernhofes treten erneut hohe As-Gehalte auf. Diese können mehrere Ursachen haben. Der erneute Zufluß des Wassers, das seinen Weg durch die sumpfige Wiese nahm, kann hier noch immer für deutlich erhöhte Gehalte sorgen; eine Auswaschung aus den Halden auf der rechten Seite des Schwarzbachtales kann auch dazu beitragen. Möglicherweise wurden früher auch Reste der Verarbeitung oder Halden an „Reicherz“ für das Lettenpochwerk oder das Pfandgraber Kobaltpochwerk auf dem betroffenen Gebiet gelagert. Weitere Einträge sind durch Stollenausgänge zu erwarten (z.B. den Unteren Koboltsstollen).

Die Arsengehalte fallen von dieser Stelle an zunächst wieder ab, ein erneuter Anstieg ist im Wald am Fuße des Burgberges unterhalb des Bauernhofes zu beobachten. Das ist das Gelände, auf dem früher das Pfandgraber Kobaltpochwerk stand.

Hier kann eine langsamere aber stetige Auswaschung aus dem Waldboden, der mit dem „Schliech“, dem Rückstand des Pochvorganges, verunreinigt zu sein scheint, stattfinden. Dieser Eintrag kann nach Überlegungen zur Topographie und einem Vergleich mit historischen Unterlagen auf einer Länge von ca. 300 m stattfinden. Am Ort des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpochwerkes wurden Proben von Waldboden und vom Bachsediment genommen, zusätzlich ein Sandstein mit schwarzer Oxid-Hydroxidkruste aus dem Schwarzbach und zum Vergleich eine Sandsteinprobe aus dem Su_2 -Horizont oberhalb der Fahrstraße zum Sanatorium am Burgberg.

Unterhalb dieses Standortes nehmen die Arsengehalte im Schwarzbach stetig ab.



Abb. 6. Hüttenwehrtal und ehemaliger Hüttenwehrtollen (Cancrin 1787).

Stellenweise sind einmündende Seitenbäche an ihrem Verdünnungseffekt direkt aus dem Diagramm (Abb. 12) ablesbar.

Auch im ehemaligen Hüttenwehrtal, in dem heute Fischzucht betrieben wird, konnten Arsengehalte zwischen 0,0265 mg/l und 0,0777 mg/l sowie erhöhte Al-, Fe-, Mn- und Zn-Gehalte bestimmt werden (siehe Meßwerttabellen).

Unterhalb des Hüttenwehrtales konnte ein kanalisierter Zufluß von der rechten Talseite in den Schwarzbach entdeckt und beprobt werden (R 352402, H 555704). In diesem Wasser fielen erhöhte Arsen-, Eisen-, Mangan- und Aluminiumgehalte auf, die in etwa denen des Schwarzbaches entsprechen. Zwar befindet sich in einem eingezäunten Grundstück neben dem Bach ein Brunnen, aber nach alten Karten kann es sich bei diesem Zufluß auch um abgeleitetes Wasser aus dem ehemaligen Hüttenwehrtal handeln. Dieser Stollen endete früher nordnordwestlich des Hüttenwehrtales (Abb. 6).

Das Durchfließen der vererzten Zechsteinschichten, die der Schwarzbach bereits oberhalb des ehemaligen Lochborner Kunstteiches kreuzt, scheint hier kaum oder gar nicht zur Erhöhung der Schwermetallgehalte beizutragen.

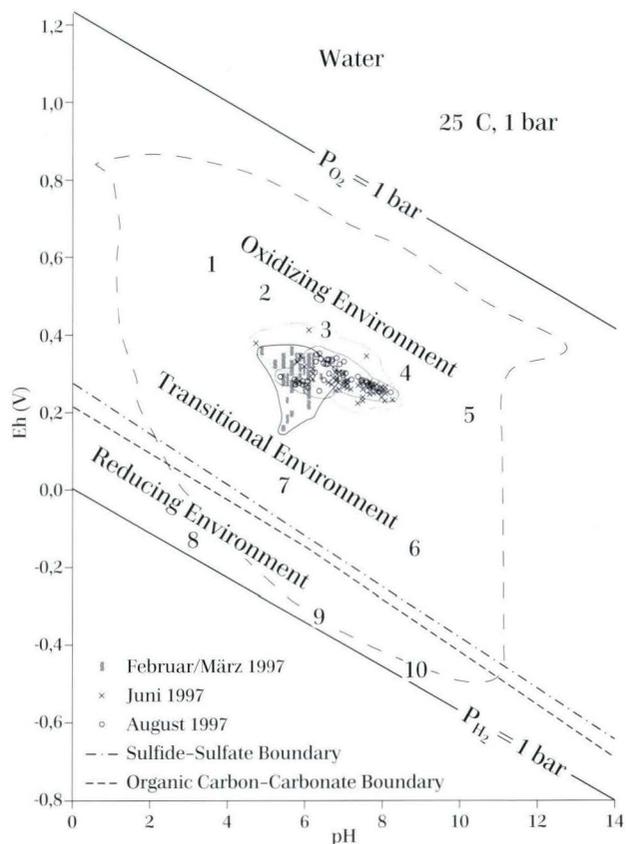


Abb. 7. Darstellung der Probenpunkte im allgemeinen pH-Eh-Diagramm nach Baas Becking et al. (1960) in Brookins (1988).

6.1.1 Beschreibung und Interpretation der pH-Eh-Diagramme

Die ermittelten pH-Werte und Redox-Potentiale (Eh-Werte) liegen alle im Bereich von Regenwasser, Flußwasser und normalem Meerwasser (siehe Abb. 7). Wasserproben, die etwas von der Haupt-Punktwolke zu niedrigeren pH-Werten hin abweichen, stammen aus dem Wiesbüttelsee. Im Februar fielen auch die beprobten Brunnen auf, da sie höhere pH-Werte als die Bachwässer aufwiesen. Weiterhin tendieren einige wenige Werte zu dem Feld der Moorwässer im pH-Eh-Diagramm.

6.1.2 Vergleich der pH-Eh-Werte mit den Stabilitätsdaten im System As-O-H

Betrachtet man die gemessenen pH-Eh-Werte im Vergleich mit den Stabilitätsfeldern verschiedener Arsenverbindungen im System As-O-H (Abb. 8), fällt auf, daß die Werte der Beprobung im Februar/März alle im Stabilitätsbereich von $H_2AsO_4^-$ liegen. Im Juni und August verteilen sie sich, bedingt durch die höheren pH-Werte, auf die Bereiche von $H_2AsO_4^-$ und $HAsO_4^{2-}$, wobei die meisten Datenpunkte im Stabilitätsfeld der zweiten Dissoziationsstufe der Arsensäure liegen. Das bedeutet, daß das Arsen in allen Proben ausschließlich, oder zumindest stark überwiegend, in der fünfwertigen Form vorliegt. Damit kann auch die große Mobilität erklärt werden.

Ein Vergleich der pH-Werte des Schwarzbachwassers

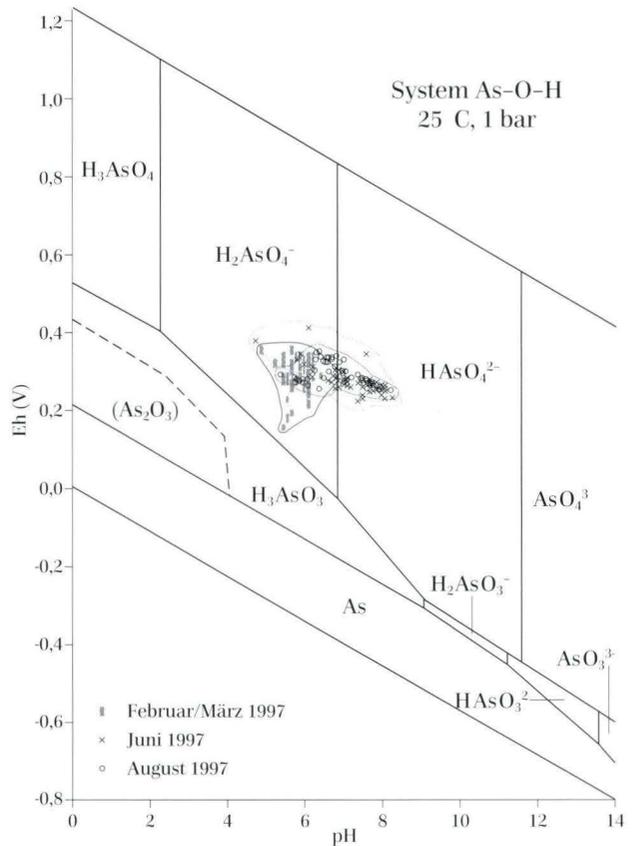


Abb. 8. Darstellung der Probenpunkte im pH-Eh-Diagramm nach Brookins (1988), mit eingezeichneten Stabilitätsfeldern wichtiger Verbindungen des Systems As-O-H bei 25 °C und 1 bar Luftdruck.

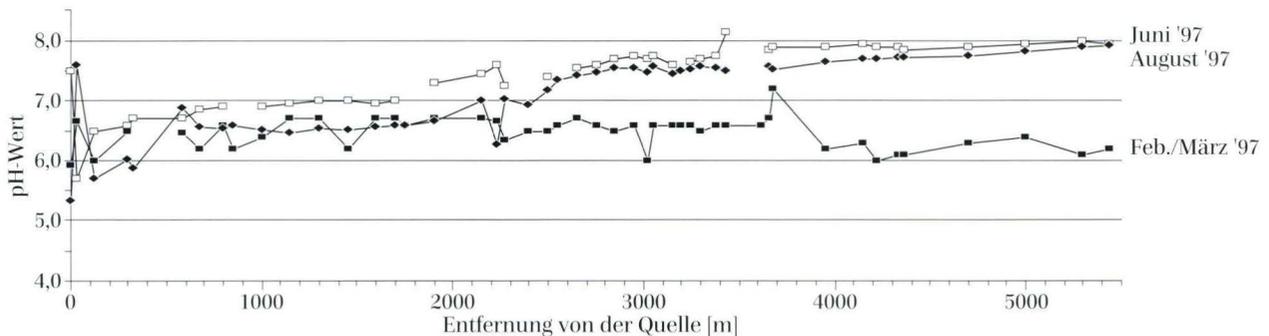


Abb. 9. Diagramm der bei den verschiedenen Beprobungen ermittelten pH-Werte des Schwarzbachs.

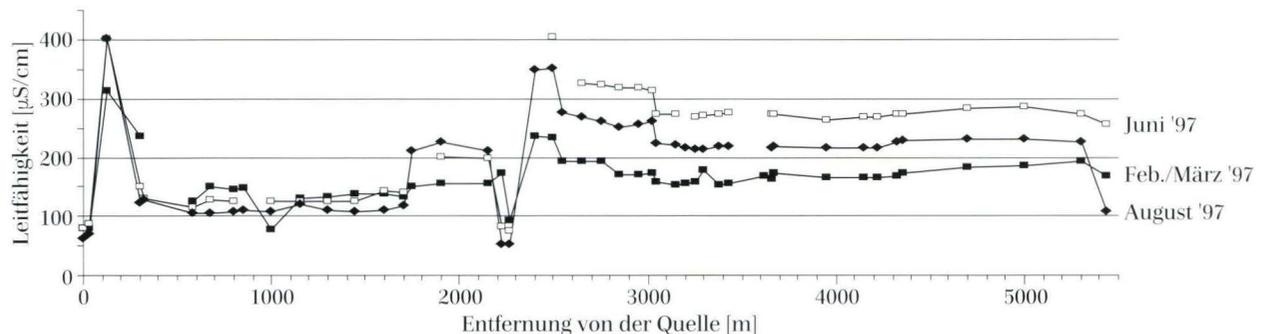


Abb. 10. Zusammenstellung der Leitfähigkeitsdaten, die bei den 3 Beprobungen gewonnen wurden.

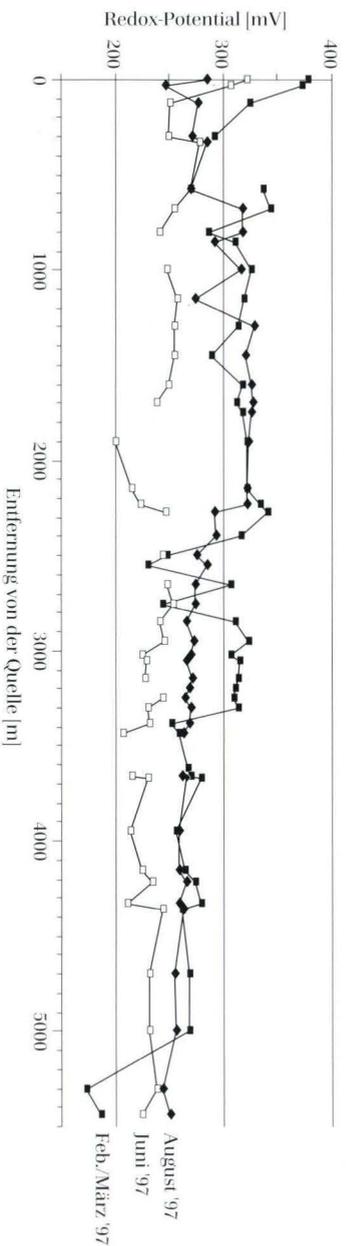


Abb. 11. Darstellung der gemessenen Redox-Potentiale.

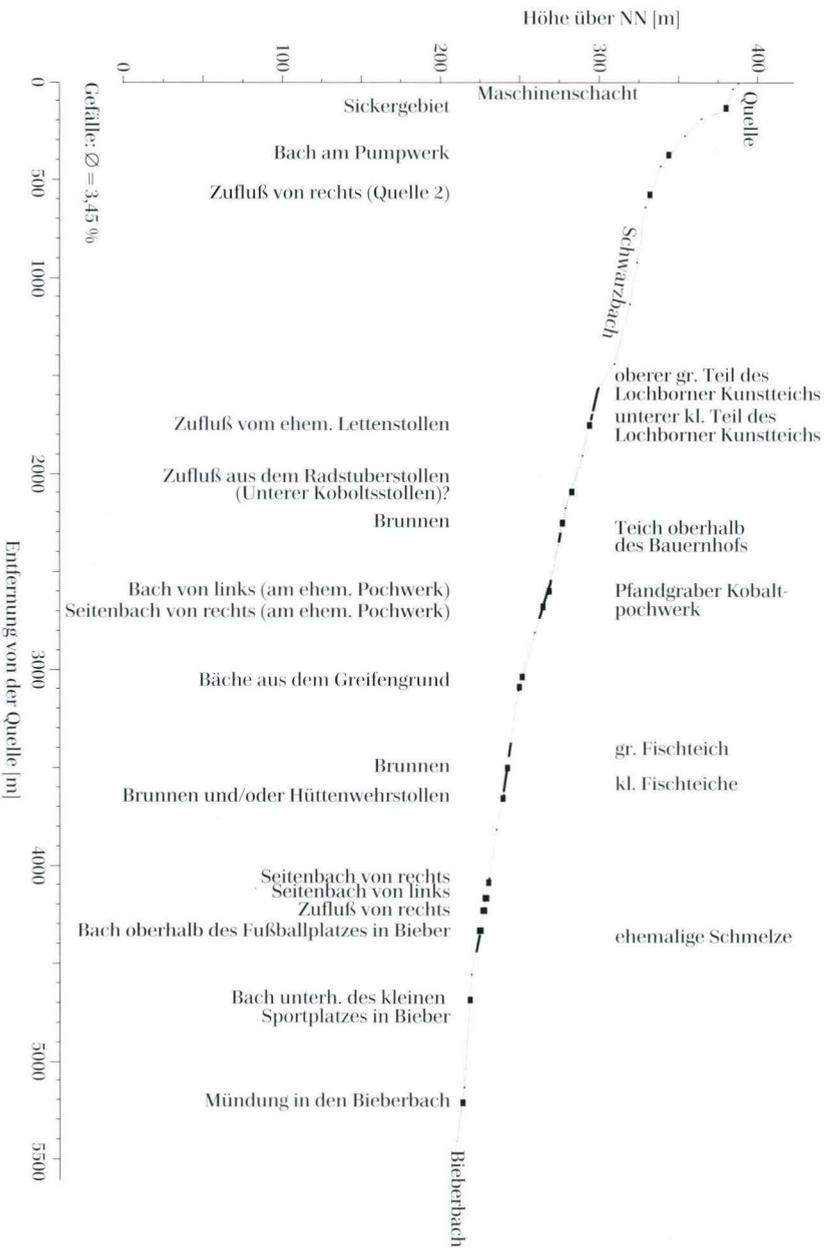
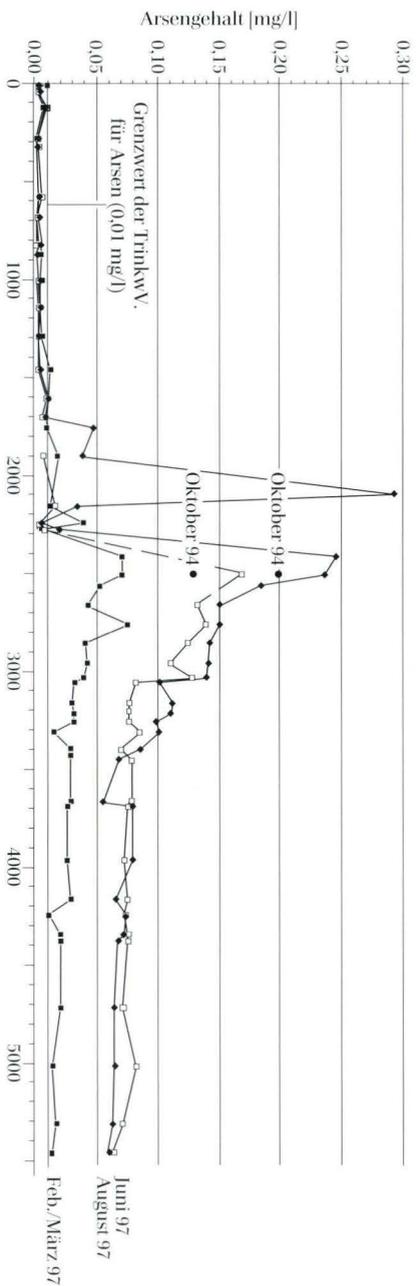


Abb. 12. Profil des Schwarzbaches mit einem Vergleichs-Diagramm der Arsengehalte.

zeigt, daß die niedrigsten Werte im Februar und März registriert wurden. Im Juni und August liegen die Werte z.T. deutlich höher und unterscheiden sich, zumindest in der unteren Bachhälfte, nur geringfügig. Die Größe der Unterschiede in den pH-Werten zwischen Februar/März und Juni und August nimmt zur Mündung des Baches hin zu (Abb. 9).

Die im Februar und März bestimmten Werte schwanken alle um pH 6,5. Bei diesen Proben ist der Einfluß von Oberflächenwässern aus Regen und Schnee am größten. Die gemessenen pH-Werte stimmen, wenn man die Redox-Potentiale außer acht läßt, im pH-Eh-Diagramm in etwa mit der Lage von Regen- und Bachwasser überein.

Die Leitfähigkeitswerte, die im August bestimmt wurden, liegen zwischen denen von Februar/März und Juni. Die Leitfähigkeitswerte der drei Beprobungen korrelieren jeweils gut mit der Wasserhärte (Mg- + Ca-Gehalte). Die einzige Ausnahme bildet ein Seitenbach, der oberhalb des Fußballplatzes im Ort Bieber von links in den Schwarzbach einmündet. Im Quellbereich des Schwarzbaches liegen die Werte, die zu den verschiedenen Zeiten ermittelt wurden sehr eng beieinander (Abb. 10).

Auffällig ist weiterhin, daß die Redox-Potentiale, die im Juni erfaßt wurden, deutlich unter denen der anderen Beprobungen liegen (Abb. 11).

Die Gesamthärte des Wassers der Schwarzbachquelle und der Quelle eines Seitenbaches (Quelle 2 in Abb. 2) schwankt zwischen 0,137 mmol/l (= 0,77 °d bzw. Grad deutscher Härte) und 0,183 mmol/l (= 1,02 °d), wobei die Karbonathärte den überwiegenden Teil ausmacht. Damit liegen die Werte im selben Bereich wie die von den Stadtwerken Frankfurt/Main an fünf anderen Quellen um Bieber ermittelten (0,2–0,5 mmol/l bzw. 1,12–2,8 °d). In der Region unterhalb der Aufschüttung rechts des ehemaligen Eisenbahndammes unterhalb des oberen Maschinenschachtes, in der der Schwarzbach wieder aus dem Berg herausickert, liegen die Härtewerte bedeutend höher (zwischen 1,46 und 2,51 mmol/l bzw. 8,2–14,1 °d).

Abgesehen von wenigen Proben liegen die Kaliumwerte konstant zwischen 1,8 und 3 mg/l, bei den Na-Gehalten sind Werte zwischen 4 und 5 mg/l im Oberlauf, dagegen nur zwischen 2 und 3,5 mg/l im Unterlauf des Schwarzbaches zu beobachten.

6.1.3 Wiesbüttensee

Der Wiesbüttensee enthält relativ saures ionenarmes Wasser, in dem nur die Metalle Fe, Mn und Al nachweisbar waren, deren Gehalte jedoch bei allen Beprobungen die Trinkwassergrenzwerte überschritten. Es wird von Anwohnern berichtet, daß im Wiesbüttensee keine Fischzucht möglich ist, ja daß überhaupt keine Fische im See lebten.

6.2 Beschreibung der Boden und Gesteinsproben

- 2006: Bachsediment aus dem Schwarzbach am Burgberg (R 35 2478, H 55 56 58), Datum der Probenahme: 30.10.1994.
- 2010: Heller, beigefarbener, feinkörniger Sandstein aus dem Anstehenden Su_2 -Horizont vom Burgberg, oberhalb des Zufahrtsweges zum Sanatorium. (R 35 2476, H 55 56 60), 30.10.1994.
- 2011: Stein aus dem Schwarzbach (Abb. 13), (R 35 2474, H 55 56 62), 30.10.1994, schwarze Kruste.
- 2012: Stein aus dem Schwarzbach (Abb. 13), (R 35 2474, H 55 56 62), 30.10.1994, äußerste Schicht unter der schwarzen Kruste.
- 2013: Stein aus dem Schwarzbach (Abb. 13), (R 35 2474, H 55 56 62), 30.10.1994, Schicht ca. 0,5–1 cm unterhalb der Kruste.
- 2014: Stein aus dem Schwarzbach (Abb. 13), (R 35 2474, H 55 56 62), 30.10.1994, Kern aus rotem Buntsandstein.
- 9672: Stein vom einer Schachtpinge (Schacht 12?) nordöstlich des ehemaligen Lochborner Kunststeichs, (R 35 25 83, H 55 56 72), 20.8.1997. Von diesem Glimmerschiefer wurden ein Königswasseraufschluß und ein HNO_3 -Mikrowellen-Druckaufschluß sowie ein Eluat hergestellt und gemessen. Im Eluat war auch nach der Filtration durch ein Membranfilter mit 0,45 μm Porendurchmesser noch leicht getrübt, nach etwa einer Woche Standzeit wurde das Eluat klar und es hatten sich braune Partikel abgesetzt.
- 9673: Waldboden, Oberflächenprobe, (A_{II} -Horizont) aus dem Wald vom Standort des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpochwerkes unterhalb des Burgberges. (R 35 24 80, H 55 56 61), 20.08.1997. Von der Probe des Waldbodens wurden ebenfalls ein Königswasseraufschluß und ein HNO_3 -Mikrowellen-Druckaufschluß sowie ein Eluat hergestellt und untersucht.

Die Proben 2012–2014 wurden mit Hilfe einer Kunststoffpinzette aus grob gemörsertem Material des Steines ausgelesen, um eine Metallverunreinigung zu vermeiden. Die schwarze Kruste (Probe 2011) wurde direkt vom Stein abgekratzt.

6.2.1 Meßergebnisse der Boden- und Gesteinsproben (Tab. 5)

Die oben beschriebenen Boden- und Gesteinsproben, wurden wie unter „2. Material und Methoden“ beschrieben aufgeschlossen und anschließend auf ihre Element-



Abb. 13. Buntsandstein mit schwarzer Kruste aus dem Schwarzbach, entnommen etwas unterhalb des ehemaligen Pfandgraber Kobaltpochwerkes.

gehalte an Al, As, Pb, Ca, Cd, Cr, Fe, K, Co, Cu, Mg, Mn, Na, Ni, Hg, Ag, Tl und Zn hin untersucht. Mit dem Waldboden und dem Glimmerschiefer wurden außerdem Elutionsversuche durchgeführt, um die mit deion. Wasser löslichen Anteile der Schwermetalle zu bestimmen. Zum Vergleich konnten auch hier Untersuchungen des Waldbodens und des Bachsediments von 1994 herangezogen werden.

Beim Aufschlagen eines schwarz überkrusteten Sandsteins aus dem Bach fiel ein zonarer Übergang von der schwarzen Kruste zum rötlichen Kern auf (vgl. Abb. 13). Daraufhin wurde eine selektive Beprobung durchgeführt,

um Informationen über die Elementverteilung in den unterschiedlichen Zonen zu erhalten. Es war möglich, eine Einteilung in vier Zonen durchzuführen: die erste bestand ausschließlich aus Material der tiefschwarzen Kruste (Nr. 2011), die zweite aus der direkt darunter liegenden Schicht (Nr. 2012), die dritte Analyse wurde mit Material aus einem Streifen, das 0,5-1 cm von der Außenkruste entfernt war, durchgeführt (Nr. 2013), der innere rötliche Kern bildete das Material für die vierte Analyse (Nr. 2014). Die Verteilung der Elemente Ni, Cu, As und Co über die verschiedenen Schichten dieses Sandsteins sind in der Abb. 14 dargestellt.

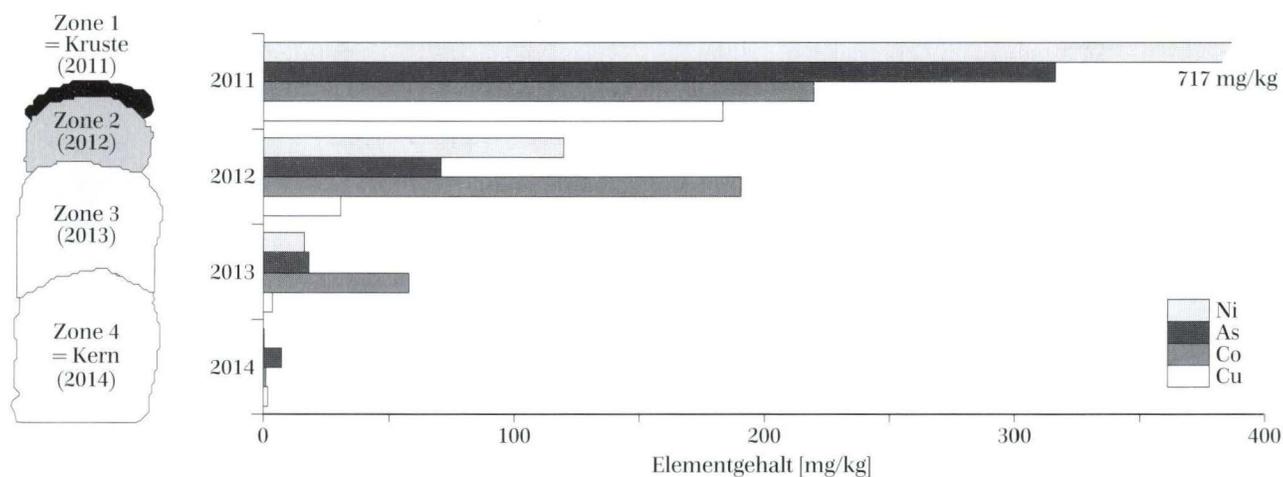


Abb. 14. Darstellung der Verteilung einiger Elemente in einem Sandstein aus dem Schwarzbach.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Gehalte aller dieser Elemente von der äußeren Kruste zum Kern des Steins hin stark abnehmen. Der Vergleich mit einem Sandstein, der aus dem Anstehenden (Su₂) oberhalb des Fahrweges zum Sanatorium am Burgberg entnommen wurde, macht deutlich, daß im Sandstein dieser Formation (Nr. 2010) sehr geringe Schwermetalle vorhanden sind (Ni: 2,00 mg/kg; Cu: 1,00 mg/kg; As: 1,92 mg/kg; Co: 3,20 mg/kg).

Aufgrund dieser Ergebnisse (vgl. Tab. 5) wird die Überlegung, daß im Schwarzbach ständig erhöhte Gehalte an Arsen vorliegen müssen, gestützt, da eine lange Zeit benötigt wird, um einen Stein bis in mehr als 1 cm Tiefe zu benetzen und die Elementgehalte so stark zu erhöhen. Vermutlich wird das Arsen adsorptiv mit Aluminium-, Eisen- und Manganoxiden und -hydroxiden ausgefällt. Als weiterer Mechanismus der Immobilisierung kann die Ausfällung schwerlöslicher Arsenatverbindungen mit Aluminium (AlAsO₄; pK_L = 15,8), Calcium

(CaAsO₄; pK_L = 18,2) Magnesium (MgAsO₄; pK_L = 19,7) oder Eisen (FeAsO₄; pK_L = 20,2) in Frage kommen (Worch 1997). Daß die Arsengehalte im Bachwasser dennoch hoch sind, hängt wohl mit der aus dem Boden und aus den Stollen zugeführten großen Arsenmenge und der recht hohen Fließgeschwindigkeit des Baches zusammen, die eine Adsorption durch sehr kurze Verweilzeiten und ständige Durchmischung erschweren.

Die Adsorption von Elementen an Bodengesteine oder Sedimente entfernt zwar momentan einen Teil der Schwermetalle aus dem Wasser, dabei wird allerdings über einen längeren Zeitraum hinweg ein Schadstoffdepot gebildet. Aus diesem Reservoir können die adsorbierten Stoffe unter Umständen schon durch geringfügige Änderungen des Milieus wieder freigesetzt werden. Das ist besonders bei Stoffen zu erwarten, die im aquatischen System durch Oberflächenkomplexbindung an Oxide, Oxihydrate oder Al-Silikate, wie z.B. Tone gebunden sind.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Aus dem Vergleich der pH-, Leitfähigkeits-, Redox- und Wasserhärte werte, die bei dieser Untersuchung an der Quelle des Schwarzbachs bestimmt wurden, mit denen, die die Stadtwerke Frankfurt/Main an fünf anderen Quellen um Bieber in den Jahren 1988–1995 bestimmten (Abke et al. 1996), läßt sich ableiten, daß aus der Schwarzbachquelle ebenso unbelastetes, ionenarmes Wasser entspringt wie aus den anderen Schichtquellen derselben geologischen Formation des Spessarts.

Die starken Arsenbelastungen, die etwa ab der Mitte des Baches zu beobachten sind, müssen, da andere Eintragspfade nicht zu erkennen sind, auf den ehemaligen Bergbau im Lochborn von Bieber zurückgeführt werden. Es wird zudem deutlich, daß sich die Höhe der Belastung umgekehrt proportional zur Niederschlagsmenge verhält. Es konnte gezeigt werden, daß die höchsten Werte nach längerer Trockenheit auftraten. Dies wird auch durch die 1994 durchgeführten Untersuchungen bestätigt.

Der maximale Arsengehalt, der im Schwarzbach selbst bestimmt wurde, lag mit 0,28 mg As/l Bachwasser beim 28-fachen des zulässigen Grenzwertes der Trinkwasserverordnung.

Bei allen anderen Elementen, die untersucht wurden, lagen nur einzelne Werte über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Bei vielen Schwermetallen (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) gab es keine Überschreitungen, die meisten Werte lagen sogar unterhalb der Nachweisgrenze (vgl. hierzu die Min.- und Max.-Werte in Tab. 6).

Weitere Informationen über die Wasserqualität und der Belastung des Schwarzbachs könnten z.B. durch

limnologische Untersuchungen, die besonders die Biologie des Gewässers betrachten, gewonnen werden.

Schwermetallbestimmungen in Eluaten und Aufschlüssen von Proben aus Bodenprofilen an den belasteten Standorten der ehemaligen Pochwerke könnten die Ausdehnung der Auswaschungen in die Tiefe sowie die Mobilität dieser Elemente klären und damit eine Abschätzung der Gefährdung des Trinkwassers zulassen. Auf diese Weise wäre auch eine Mengenabschätzung des belasteten Bodens möglich.

Durch das Aufspüren alter Stollenausgänge und Messen des Wasserzulaufs und der enthaltenen Elementgehalte könnte der auf diesem Wege stattfindende Eintrag bilanziert werden. Schließlich könnte der Einfluß der Halden durch eine Untersuchung des Grundwasserstroms bezüglich seiner Menge und Richtung sowie der Schwermetallbelastung über längere Zeit hinweg untersucht werden. Dadurch könnte abgeschätzt werden, ob eine Drainierung der Halden eine Verbesserung der Situation mit sich brächte. Auch die durch Regen zugeführte Wassermenge wäre in die Bilanz einzubeziehen.

Dank: Ich danke Herrn Dr. A.-K. Theuerjahr vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung für die Anregung zu dieser Untersuchung. Mein weiterer Dank gilt der Geschäftsleitung und den Mitarbeitern der Fa. BIO-DATA GmbH in Linden (bei Gießen), in deren Labors alle Untersuchungen durchgeführt wurden.

Tab. 1. Ergebnisse der Beprobung des Schwarzbaches am 22.2.1997

Nr.	Rechts-Wert	Hoch-Wert	pH-Wert	Redox [mV]	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Temp. [$^{\circ}\text{C}$]	Ca	K	Mg	Na	Ni	Cu	Pb	Hg	As	Zn	Fe	Mn	Al
							[mg/l]												
2512	35 23 22	55 58 33	6,2	187	168	5	10,81	2,96	5,49	3,43	< 0,003	0,006	0,002	0,0002	0,0135	0,05	0,28	0,07	0,27
2513	35 23 34	55 58 26	6,1	173	193	5	12,40	2,42	6,76	3,13	< 0,003	0,007	0,002	< 0,0002	0,0158	0,04	0,22	0,07	< 0,10
2514	35 23 36	55 58 30	6,0	268	164	5	8,10	2,51	4,03	3,51	< 0,003	0,003	0,041	< 0,0002	0,0046	0,03	0,20	< 0,06	0,17
2515	35 23 40	55 58 10	6,4	269	186	5	31,36	2,47	6,65	3,10	< 0,003	0,006	0,006	< 0,0002	0,0133	0,05	0,23	0,09	< 0,10
2516	35 23 56	55 57 85	6,3	269	183	5	12,23	2,34	6,82	3,05	< 0,003	0,003	0,003	< 0,0002	0,0211	0,03	0,16	0,07	< 0,10
2517	35 23 62	55 57 62	6,1	262	173	5	11,43	2,24	6,32	3,08	< 0,003	0,014	0,002	< 0,0002	0,0205	0,04	< 0,12	0,08	< 0,10
2518	35 23 63	55 57 55	6,0	152	293	6	21,24	5,44	5,10	8,88	< 0,003	0,015	0,001	< 0,0002	0,0013	0,06	1,08	0,52	0,61
2519	35 23 67	55 57 53	6,1	280	170	6	23,81	2,29	6,04	2,91	< 0,003	0,016	0,003	0,0103	0,0206	0,05	1,22	0,08	0,22
2520	35 23 70	55 57 70	6,1	265	144	6	9,22	2,31	2,41	6,33	< 0,003	0,004	0,003	0,0004	0,0016	0,04	0,46	0,45	0,14
2521	35 23 71	55 57 73	6,0	275	166	6	10,69	1,91	6,23	2,79	< 0,003	0,006	0,002	0,0003	0,0107	0,04	0,10	0,06	0,10
2522	35 23 79	55 57 37	6,4	280	168	6	11,66	2,40	6,17	2,76	< 0,003	0,020	0,016	0,0002	0,0223	0,09	0,62	0,17	0,35
2523	35 23 78	55 57 36	6,3	265	166	6	11,88	2,28	5,63	2,64	< 0,003	0,016	0,002	< 0,0002	0,0289	0,07	0,34	0,09	< 0,10
2524	35 23 82	55 57 32	6,2	250	168	6	10,81	2,03	5,54	2,53	< 0,003	0,005	0,003	< 0,0002	0,0156	0,05	0,20	< 0,06	0,16
2525	35 23 80	55 57 30	6,1	218	167	6	11,51	2,33	6,09	2,85	< 0,003	0,009	0,003	< 0,0002	0,0237	0,06	0,23	0,14	< 0,10
2526	35 23 86	55 57 19	6,2	257	166	6	11,52	2,20	5,97	2,77	< 0,003	0,007	0,001	< 0,0002	0,0254	0,06	0,22	< 0,06	0,27
2527	35 23 90	55 57 11	6,1	272	185	6	10,96	2,27	6,05	2,72	< 0,003	0,006	0,003	< 0,0002	0,0266	0,06	0,27	0,07	0,11
2528	35 24 01	55 57 02	7,2	280	173	6	12,08	1,99	5,86	2,73	< 0,003	0,008	0,002	< 0,0002	0,0256	0,07	0,37	0,08	0,17
2529	35 24 02	55 57 04	6,9	278	166	6	9,54	1,83	5,59	2,40	< 0,003	0,004	< 0,001	< 0,0002	0,0252	0,07	0,55	0,06	0,43
2530	35 24 03	55 57 01	6,7	270	165	6	13,33	2,26	6,49	2,82	< 0,003	0,005	< 0,001	< 0,0002	0,0290	0,07	0,18	0,06	0,11
2531	35 24 05	55 57 00	6,6	268	168	6	12,45	2,05	6,31	2,74	< 0,003	0,011	0,002	< 0,0002	0,0282	0,05	0,23	< 0,06	0,11
2532	35 24 09	55 56 97	6,6	270	166	6	10,30	1,75	5,79	2,69	< 0,003	0,005	0,001	< 0,0002	0,0265	0,04	0,37	< 0,06	0,11
2533	35 24 15	55 56 93	6,6	274	174	6	16,74	1,96	6,01	2,56	< 0,003	0,006	< 0,001	< 0,0002	0,0254	0,05	0,39	0,07	0,16
2534	35 24 18	55 57 03	6,6	262	133	6	8,52	3,46	3,66	2,90	< 0,003	0,003	< 0,001	< 0,0002	0,0048	0,03	0,19	< 0,06	0,13
2535	35 24 20	55 56 94	6,6	260	155	6	11,59	2,09	6,38	2,87	< 0,003	0,005	0,002	< 0,0002	0,0284	0,05	0,16	0,08	< 0,10
2536	35 24 23	55 56 93	6,6	253	154	6	11,74	2,00	6,33	2,78	< 0,003	0,004	< 0,001	< 0,0002	0,0290	0,04	0,14	< 0,06	< 0,10
2537	35 24 26	55 56 92	6,5	315	179	6	14,18	1,79	7,66	2,31	< 0,003	0,003	0,001	< 0,0002	0,0152	0,04	0,40	< 0,06	0,10
2538	35 24 31	55 56 89	6,6	310	159	6	11,76	2,23	6,33	2,92	< 0,003	0,005	< 0,001	< 0,0002	0,0318	0,04	0,13	< 0,06	< 0,10
2539	35 24 38	55 56 86	6,6	312	156	6	28,09	2,00	6,37	2,94	< 0,003	0,014	< 0,001	< 0,0002	0,0311	0,03	0,16	< 0,06	< 0,10
2540	35 24 47	55 56 82	6,6	315	154	6	11,20	1,98	6,05	2,77	< 0,003	0,004	< 0,001	< 0,0002	0,0299	0,04	0,12	< 0,06	< 0,10
2541	35 24 54	55 56 76	6,6	316	159	6	11,72	2,28	6,61	2,95	< 0,003	0,005	< 0,001	< 0,0002	0,0309	0,04	< 0,12	< 0,06	< 0,10
2542	35 24 56	55 56 73	6,7	306	86	6	5,36	2,32	1,95	2,27	< 0,003	0,004	< 0,001	0,0002	0,0066	0,03	0,23	< 0,06	0,15
2543	35 24 59	55 56 74	6,0	307	174	6	12,50	2,18	7,52	2,97	< 0,003	0,005	< 0,001	< 0,0002	0,0392	0,05	< 0,12	0,06	< 0,10
2544	35 24 57	55 56 60	6,7	315	89	6	4,84	2,40	1,83	2,32	< 0,003	0,001	< 0,001	< 0,0002	< 0,0006	0,03	0,17	< 0,06	0,16
2545	35 24 60	55 56 57	6,7	313	78	6	4,57	2,27	1,48	1,96	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	< 0,0006	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
2546	35 24 56	55 56 57	6,7	328	88	6	4,64	2,09	1,97	2,19	< 0,003	0,001	< 0,001	< 0,0002	< 0,0006	0,03	0,15	< 0,06	0,14
2547	35 24 65	55 56 68	6,6	324	172	6	12,18	2,10	7,71	2,73	< 0,003	0,005	< 0,001	< 0,0002	0,0422	0,04	0,21	< 0,06	0,24
2548	35 24 68	55 56 65	6,5	311	172	6	13,63	2,39	8,34	2,85	< 0,003	0,007	0,002	0,0003	0,0411	0,05	0,14	0,10	0,11
2549	35 24 72	55 56 62	6,6	236	192	6	13,43	2,31	8,23	2,86	< 0,003	0,006	< 0,001	0,0002	0,0444	0,05	0,14	< 0,06	0,17
2550	35 24 76	55 56 60	6,6	245	194	6	13,32	2,35	8,61	2,84	0,008	0,014	0,003	0,0003	0,0772	0,06	0,67	0,18	0,39
2551	35 24 85	55 56 56	6,7	308	194	6	13,90	2,30	8,58	2,92	< 0,003	0,006	0,001	< 0,0002	0,0422	0,05	0,16	< 0,06	0,24
2552	35 24 82	55 56 59	6,6	309	158	6	9,20	2,41	6,01	3,13	0,007	0,014	< 0,001	< 0,0002	0,0187	0,10	0,23	< 0,06	0,14
2553	35 24 91	55 56 57	6,6	206	195	6	13,87	2,31	8,65	2,78	< 0,003	0,008	0,013	< 0,0002	0,0500	0,07	0,25	< 0,06	0,41
2554	35 24 93	55 56 58	6,7	312	197	6	13,92	2,45	8,73	2,79	< 0,003	0,006	< 0,001	< 0,0002	0,0516	0,06	0,38	< 0,06	0,13
2555	35 24 97	55 56 58	6,6	231	195	6	13,76	2,22	8,34	2,73	< 0,003	0,006	0,001	< 0,0002	0,0533	0,09	0,16	< 0,06	< 0,10

2556	35 25 02	55 56 59	6,5	248	234	6	16,29	2,37	10,79	2,92	<0,003	0,006	0,001	<0,0002	0,0706	0,05	<0,12	<0,06	0,11
2557	35 25 08	55 56 59	6,5	317	236	6	16,79	2,47	11,50	2,97	0,005	0,006	<0,001	<0,0002	0,0706	0,05	<0,12	<0,06	0,26
2558	35 26 18	55 55 57	6,7	320	130	6	6,71	2,52	3,66	4,96	<0,003	0,009	0,002	<0,0002	0,0038	0,06	0,49	<0,06	0,31
2559	35 26 04	55 56 08	6,7	314	134	6	7,12	2,31	4,06	4,76	<0,003	0,011	0,002	<0,0002	0,0049	0,04	0,57	<0,06	0,50
2560	35 25 93	55 56 20	6,2	290	139	6	7,75	2,37	4,17	4,70	<0,003	0,009	<0,001	<0,0002	0,0121	0,04	0,46	<0,06	0,37
2561	35 25 75	55 56 38	6,7	319	139	6	7,88	2,27	4,56	4,75	<0,003	0,006	0,002	<0,0002	0,0108	0,05	0,35	0,19	0,33
2562	35 25 70	55 56 43	6,7	313	133	6	7,63	2,27	4,37	3,70	<0,003	0,006	0,001	<0,0002	0,0097	0,03	0,26	0,12	0,23
2563	35 25 65	55 56 43	6,7	320	168	6	12,65	1,89	8,69	7,50	0,014	0,226	0,022	<0,0002	0,0092	0,13	1,70	1,25	1,11
2564	35 25 67	55 56 44	6,6	319	151	6	9,84	1,98	5,73	3,74	<0,003	0,008	0,001	<0,0002	0,0097	0,03	0,23	<0,06	0,26
2565	35 25 61	55 56 48	6,7	322	155	6	10,77	2,01	6,08	3,76	<0,003	0,014	0,003	0,0003	0,0186	0,04	0,61	0,14	0,65
2566	35 25 34	55 56 56	6,7	322	156	6	9,86	1,87	6,06	3,72	<0,003	0,009	0,002	<0,0002	0,0130	0,04	0,30	<0,06	0,28
2567	35 27 02	55 54 91	5,5	341	64	4	1,70	1,09	1,10	3,02	<0,003	0,002	0,001	<0,0002	0,0005	0,04	0,23	0,10	0,41
2568	35 27 14	55 54 81	5,8	307	126	3	2,87	2,25	2,24	5,97	0,004	0,003	0,003	<0,0002	0,0304	0,05	0,26	0,19	0,62
2569	35 26 31	55 55 91	6,4	326	78	6	2,93	2,10	1,04	4,75	0,010	0,005	0,007	<0,0002	0,0040	0,04	0,29	0,09	0,38
2570	35 26 45	55 55 78	6,2	312	148	6	7,82	2,08	4,62	7,18	0,008	0,006	<0,001	<0,0002	0,0050	0,05	0,31	0,09	0,33
2571	35 26 41	55 55 84	6,6	287	145	6	7,90	2,04	4,43	7,27	<0,003	0,006	0,001	<0,0002	0,0030	0,05	0,20	0,06	0,18
2572	35 26 48	55 55 66	6,2	345	150	6	9,49	2,01	4,49	7,24	<0,003	0,004	<0,001	<0,0002	0,0020	0,05	0,21	0,09	0,17
2573	35 26 56	55 55 36	6,0	309	126	6	4,48	2,14	2,08	8,71	0,003	0,007	0,001	0,0003	0,0012	0,05	0,17	0,07	0,23
2574	35 26 61	55 55 40	6,3	324	125	6	7,53	2,26	1,99	8,62	<0,003	0,003	<0,001	<0,0002	0,0006	0,04	<0,12	0,07	0,15
2575	35 26 64	55 55 46	6,5	293	238	6	18,80	1,80	13,99	2,84	<0,003	0,009	0,001	<0,0002	0,0006	0,07	0,19	0,08	<0,10
2576	35 26 74	55 55 37	6,4	302	356	7	31,30	2,32	21,89	2,90	<0,003	0,005	<0,001	<0,0002	0,0087	0,10	0,23	<0,06	0,13
2577	35 26 79	55 55 30	6,0	325	315	6	26,87	2,15	19,28	2,81	0,016	0,009	0,003	<0,0002	0,0072	0,09	0,22	<0,06	0,15
2578	35 26 62	55 55 35	6,6	283	123	6	4,62	2,16	2,15	8,68	0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0028	0,05	0,16	0,07	0,15

Tab. 2. Ergebnisse der Beprobung des Schwarzbaches am 8.3.1997

Nr.	Rechts-Wert	Hoch-Wert	pH-Wert	Redox [mV]	Leitf. [μ S/cm]	Temp. [°C]	Ca	K	Mg	Na	Ni	Cu	Pb [mg/l]	Hg	As	Zn	Fe	Mn	Al
3722	35 26 81	55 55 39	6,6	360	73	7	3,88	12,23	3,03	1,97	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0015	0,04	0,26	<0,06	0,22
3723	35 26 80	55 55 32	6,7	375	77	7	4,29	3,11	2,13	1,60	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0018	0,06	<0,12	<0,06	<0,10
3724	35 26 91	55 55 55	6,7	385	76	8	4,03	3,68	2,00	1,64	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0014	0,03	0,12	<0,06	0,10
3725	35 26 86	55 55 26	6,7	373	80	6	3,74	3,08	1,60	3,51	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0010	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
3726	35 26 85	55 55 26	6,7	369	81	6	4,09	2,94	2,27	3,11	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0008	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
3727	35 26 91	55 55 24	5,9	379	80	7	3,75	3,07	1,59	3,23	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0081	0,02	0,22	<0,06	<0,10
3728	35 27 02	55 54 91	5,8	384	116	6	1,83	2,52	3,35	5,70	<0,003	0,005	<0,001	<0,0002	0,0010	0,05	0,26	0,19	0,55
3729	35 26 96	55 54 87	4,8	391	117	6	3,61	2,55	3,09	5,61	0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	<0,0006	0,03	0,12	0,19	0,43
3730	35 26 63	55 55 51	6,0	354	88	6	4,84	5,47	2,73	1,89	<0,003	0,009	<0,001	<0,0002	0,0019	0,04	0,23	<0,06	0,22
3731	35 26 56	55 55 54	6,5	338	127	6	7,00	2,98	4,84	4,81	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0021	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
3732	35 25 27	55 56 56	6,7	335	173	6	13,39	2,34	10,67	2,79	<0,003	0,003	<0,001	<0,0002	0,0396	0,07	<0,12	<0,06	<0,10
3733	35 25 24	55 56 52	6,4	342	80	6	4,57	13,43	2,27	1,70	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0016	0,06	<0,12	<0,06	<0,10
3734	35 25 20	55 56 52	6,4	342	93	6	5,74	2,79	3,69	1,89	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0066	0,03	<0,12	<0,06	<0,10

Tab. 3. Ergebnisse der Beprobung des Schwarzbaches am 6.6.1997

Nr.	Rechts-		pH- Wert	Redox [mV]	Leitf. [µS/cm]	Temp. [°C]	Ca	K	Mg	Na	Ni	Cu	Pb	Hg	As	Zn	Fe	Mn	Al
	Wert	Hoch- Wert																	
7915	35 27 02	55 54 91	5,7	310	143	18	5,07	10,23	2,68	7,63	0,005	<0,001	<0,001	0,0002	0,0015	0,04	0,28	0,17	0,38
7916	35 27 15	55 54 82	6,0	387	88	16	4,15	1,69	1,52	4,43	<0,003	<0,001	0,011	0,0002	0,0020	0,06	3,75	0,21	0,75
7917	35 27 14	55 54 81	4,6	357	153	14	2,88	1,39	2,45	7,83	0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0008	0,02	0,36	0,16	0,65
7918	35 26 91	55 55 55	5,7	307	87	12	3,67	2,67	1,48	3,54	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0009	0,04	<0,12	<0,06	0,12
7919	35 26 91	55 55 24	7,5	322	81	9	3,79	2,68	1,22	3,49	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0009	0,03	<0,12	<0,06	0,15
7920	35 26 91	55 55 55	5,8	322	73	8	3,33	2,62	1,52	1,67	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0004	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7921	35 26 85	55 55 52	5,9	295	74	9	3,37	7,21	1,62	1,78	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0009	0,02	0,12	<0,06	0,14
7922	35 26 78	55 55 40	6,1	275	150	10	11,41	3,08	7,50	1,99	0,042	0,021	0,002	<0,0002	0,0005	0,14	0,70	<0,06	0,23
7923	35 26 77	55 55 45	6,1	263	76	9	5,40	3,73	1,81	1,70	<0,003	0,002	0,002	<0,0002	0,0011	0,05	0,37	<0,06	0,28
7924	35 26 73	55 55 43	6,1	287	85	9	4,66	4,82	2,54	1,76	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0012	0,02	<0,12	<0,06	0,10
7925	35 26 79	55 55 30	6,5	252	402	9	49,00	3,32	31,25	3,35	<0,003	0,012	<0,001	<0,0002	0,0100	0,11	0,63	0,16	0,52
7926	35 26 67	55 55 47	6,7	259	90	10	5,40	2,76	3,18	1,77	<0,003	0,003	<0,001	<0,0002	0,0010	0,02	0,16	<0,06	0,37
7927	35 26 63	55 55 51	6,7	257	85	11	5,29	2,21	2,74	1,74	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0054	0,06	<0,12	<0,06	0,13
7928	35 26 56	55 55 54	6,7	270	116	10	7,59	4,15	4,38	4,51	<0,003	<0,001	0,001	<0,0002	0,0048	0,03	0,73	0,11	0,26
7929	35 26 60	55 55 49	6,7	279	131	10	7,36	2,42	5,00	5,48	<0,003	<0,001	0,004	<0,0002	0,0022	0,03	0,27	0,09	0,73
7930	35 26 58	55 55 38	6,9	274	70	11	3,02	4,45	1,01	3,17	0,003	<0,001	0,002	<0,0002	0,0015	0,04	0,12	<0,06	0,18
7931	35 26 39	55 55 39	6,8	280	132	10	7,03	2,24	5,17	4,75	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0018	0,03	<0,12	<0,06	0,15
7932	35 26 62	55 55 35	6,7	233	146	10	4,07	7,57	2,30	5,66	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	<0,0006	<0,02	<0,12	0,06	0,15
7933	35 26 60	55 55 44	6,6	247	116	10	4,07	2,98	2,27	5,91	0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0005	0,02	<0,12	<0,06	0,13
7934	35 26 64	55 55 46	6,6	250	152	9	6,68	4,36	5,06	5,55	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0017	0,02	<0,12	<0,06	0,21
7935	35 26 58	55 55 43	6,8	237	70	11	7,94	2,23	0,93	2,82	<0,003	<0,001	0,002	<0,0002	0,0011	0,02	<0,12	<0,06	0,31
7936	35 26 62	55 55 48	6,8	254	137	10	6,22	2,38	4,57	5,09	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,0015	0,02	<0,12	<0,06	0,21
7937	35 26 48	55 55 66	6,9	255	128	10	6,72	2,28	4,28	4,21	<0,003	0,005	<0,001	0,0002	0,0013	0,03	<0,12	<0,06	0,19
7938	35 26 41	55 55 84	6,9	242	126	11	6,00	2,14	4,21	4,22	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0010	0,02	<0,12	<0,06	0,17
7939	35 26 31	55 55 91	6,9	248	126	12	6,10	2,24	4,35	4,22	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0014	<0,02	<0,12	<0,06	0,26
7940	35 26 18	55 55 97	7,0	258	127	13	6,42	2,22	4,38	4,17	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0031	<0,02	<0,12	<0,06	0,12
7941	35 26 04	55 56 08	7,0	256	126	13	6,42	2,23	4,33	4,17	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0024	0,02	<0,12	<0,06	0,14
7942	35 25 93	55 56 20	7,0	256	126	13	6,91	2,12	4,45	4,09	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,0021	0,02	<0,12	<0,06	0,30
7943	35 25 75	55 56 38	7,0	250	144	18	10,63	2,23	4,88	4,34	<0,003	0,004	0,001	<0,0002	0,0100	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7944	35 25 70	55 56 43	7,0	239	141	19	8,01	2,37	4,81	4,51	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0057	<0,02	<0,12	<0,06	0,10
7945	35 25 65	55 56 43	7,1	257	228	20	11,85	3,02	12,35	4,13	<0,003	0,025	0,002	<0,0002	0,0173	0,02	1,15	0,21	1,01
7946	35 25 61	55 56 49	7,3	201	201	14	11,62	2,83	9,81	3,87	<0,003	0,005	<0,001	0,0002	0,0069	0,02	0,21	0,07	0,35
7947	35 25 59	55 56 52	7,4	206	190	16	13,12	2,40	8,32	4,19	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0196	<0,02	0,13	<0,06	0,12
7948	35 25 54	55 56 51	7,4	234	207	17	14,54	2,48	9,49	4,09	0,008	<0,001	<0,001	0,0002	0,0162	<0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7949	35 25 34	55 56 56	7,5	216	200	17	14,00	2,25	9,29	4,28	0,005	0,002	<0,001	0,0024	0,0168	0,02	<0,12	<0,06	0,11
7950	35 25 25	55 56 55	7,6	224	83	9	3,73	3,10	1,67	2,16	0,004	<0,001	<0,001	0,0002	0,0035	<0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7951	35 25 24	55 56 52	7,4	235	73	9	3,28	1,95	1,39	1,82	0,005	<0,001	<0,001	0,0003	0,0008	<0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7952	35 25 20	55 56 52	7,3	247	75	9	3,51	2,08	1,60	1,88	0,004	<0,001	<0,001	0,0002	0,0014	<0,02	<0,12	<0,06	0,15
7953	35 25 02	55 56 59	7,4	245	406	11	42,43	1,89	31,21	2,89	0,014	<0,001	<0,001	0,0003	0,1704	0,05	<0,12	<0,06	<0,10
7954	35 24 85	55 56 56	7,6	248	327	12	30,98	1,86	22,49	2,65	0,013	<0,001	<0,001	0,0003	0,1327	0,04	<0,12	<0,06	0,18
7955	35 24 76	55 56 60	7,6	254	324	12	30,66	1,80	22,57	2,70	0,012	<0,001	<0,001	0,0002	0,1397	<0,02	<0,12	<0,06	0,12
7956	35 24 68	55 56 65	7,7	242	319	13	29,59	1,89	21,02	2,69	0,011	0,010	<0,001	0,0002	0,1243	0,04	<0,12	<0,06	<0,10
7957	35 24 65	55 56 68	7,8	246	320	13	29,88	2,09	21,08	2,97	0,011	<0,001	<0,001	<0,0002	0,1090	0,04	<0,12	<0,06	<0,10
7958	35 24 56	55 56 73	7,6	219	82	12	4,30	2,28	1,91	1,76	0,005	<0,001	<0,001	0,0002	0,0003	<0,02	<0,12	<0,06	0,34

7959	35 24 59	55 56 74	7,7	225	316	13	28,42	1,98	20,91	2,88	0,013	<0,001	<0,001	0,0002	0,1285	0,05	0,22	<0,06	0,18
7960	35 24 54	55 56 73	7,8	230	275	13	20,77	1,99	16,67	2,71	0,011	0,002	<0,001	0,0002	0,0817	0,04	0,24	<0,06	0,19
7961	35 24 49	55 56 75	7,6	246	143	12	6,16	2,85	3,20	3,83	0,005	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0008	<0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7962	35 24 47	55 56 82	7,6	228	275	13	21,59	1,89	16,60	2,75	0,015	<0,001	<0,001	0,0003	0,0768	0,03	0,18	<0,06	0,12
7963	35 24 31	55 56 89	7,7	244	269	13	21,14	2,11	16,25	2,88	0,014	0,002	<0,001	0,0003	0,0769	0,03	0,15	<0,06	0,16
7964	35 24 26	55 56 92	7,7	231	273	12	20,41	2,06	15,81	3,20	0,013	0,002	<0,001	<0,0002	0,0856	0,03	0,14	<0,06	<0,10
7965	35 24 23	55 56 93	7,8	232	275	14	21,15	2,09	15,99	3,22	0,011	<0,001	<0,001	0,0003	0,0697	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
7966	35 24 20	55 56 94	8,2	208	277	17	22,95	2,06	16,15	2,91	0,008	<0,001	<0,001	0,0003	0,0777	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7967	35 24 18	55 57 03	8,0	229	183	14	8,24	3,56	5,30	3,61	0,012	<0,001	<0,001	0,0003	0,0008	<0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7968	35 24 03	55 57 01	7,9	216	275	14	22,94	2,16	15,84	3,12	0,011	<0,001	<0,001	0,0002	0,0762	0,04	0,19	<0,06	0,15
7969	35 24 02	55 57 04	7,9	239	268	14	21,59	2,06	15,83	2,91	0,012	<0,001	<0,001	0,0003	0,0493	0,02	0,19	<0,06	0,12
7970	35 24 01	55 57 02	7,9	231	275	14	21,91	2,00	15,57	2,96	0,012	0,003	<0,001	0,0003	0,0755	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7971	35 23 86	55 57 19	7,9	214	265	16	21,49	2,00	15,85	2,97	0,011	<0,001	<0,001	0,0003	0,0726	0,03	0,19	<0,06	0,12
7972	35 23 82	55 57 32	7,9	229	272	14	21,03	2,07	15,61	3,14	0,011	<0,001	<0,001	0,0002	0,0653	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
7973	35 23 78	55 57 36	8,0	225	269	15	21,33	2,08	16,31	2,93	0,011	<0,001	0,003	<0,0002	0,0747	0,02	0,12	<0,06	<0,10
7974	35 23 71	55 57 73	7,9	235	269	15	21,31	2,08	15,59	1,89	0,013	<0,001	<0,001	0,0002	0,0723	0,02	0,30	0,08	<0,10
7975	35 23 79	55 57 37	7,9	237	275	14	21,87	2,13	15,73	3,16	0,013	<0,001	<0,001	0,0003	0,0967	0,05	0,35	0,18	0,14
7976	35 23 67	55 57 53	7,9	212	275	14	21,75	2,14	15,45	3,19	0,012	0,019	0,013	0,0002	0,0752	0,03	0,20	0,08	0,11
7977	35 23 63	55 57 55	7,9	238	380	17	11,05	18,05	4,47	60,00	0,009	0,003	0,003	0,0005	0,0032	0,02	0,34	0,33	0,12
7978	35 23 65	55 57 57	7,9	244	275	14	22,24	2,28	15,44	3,40	0,011	0,005	0,003	0,0002	0,0752	0,02	0,20	<0,06	0,31
7979	35 23 56	55 57 85	7,9	232	285	14	22,56	2,25	15,81	3,29	0,011	0,002	0,003	0,0002	0,0716	0,03	0,17	<0,06	<0,10
7980	35 23 40	55 58 10	8,0	232	287	14	21,93	2,39	15,88	3,38	0,011	0,002	0,003	0,0004	0,0816	0,03	0,28	0,12	<0,10
7981	35 23 34	55 58 26	8,0	239	275	14	22,98	3,83	15,83	3,37	<0,003	0,006	0,004	0,0002	0,0716	0,02	0,17	<0,06	0,12
7982	35 23 36	55 58 30	8,0	206	204	14	12,94	2,85	9,26	2,45	0,004	0,003	0,002	0,0002	0,0132	0,02	0,18	<0,06	0,18
7983	35 23 22	55 58 33	8,0	226	257	14	19,28	2,39	13,85	3,09	0,003	0,005	0,002	<0,0002	0,0630	0,02	0,14	<0,06	0,32

Tab. 4. Ergebnisse der Beprobung des Schwarzbaches am 20.8.1997

Nr.	Rechts- Wert	Hoch- Wert	pH- Wert	Redox [mV]	Leitf. [µS/cm]	Temp. [°C]	Ca	K	Mg	Na	Ni	Cu	Pb [mg/l]	Hg	As	Zn	Fe	Mn	Al
9546	35 27 02	55 54 91	8,2	244	111	20	27,76	2,52	2,12	6,32	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0130	0,04	0,58	0,13	0,75
9547	35 26 86	55 55 26	7,6	247	71	13	4,65	3,35	1,27	3,39	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0025	0,03	0,23	< 0,06	0,41
9548	35 26 85	55 55 24	6,4	248	74	16	4,90	2,71	1,76	3,23	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0036	0,03	< 0,12	0,07	< 0,10
9549	35 26 91	55 55 55	6,1	260	59	9	3,90	2,53	1,16	1,73	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0008	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9550	35 26 86	55 55 20	5,8	268	71	8	3,73	4,55	1,21	3,47	< 0,003	0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0010	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9551	35 26 91	55 55 24	5,3	285	64	10	3,88	2,66	0,97	3,26	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0011	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9552	35 26 79	55 55 30	5,7	278	404	11	54,70	3,44	26,36	3,43	< 0,003	0,003	< 0,001	< 0,0002	0,0087	0,07	0,12	0,06	< 0,10
9553	35 26 77	55 55 45	5,9	264	62	12	4,11	2,56	1,49	1,75	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0011	0,02	0,21	< 0,06	0,14
9554	35 26 78	55 55 40	6,8	273	134	11	12,94	2,42	5,67	2,10	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0022	0,02	1,71	0,08	< 0,10
9555	35 26 73	55 55 46	6,8	270	78	12	5,84	2,55	2,28	1,82	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0010	0,02	0,15	< 0,06	0,10
9556	35 26 63	55 55 51	6,7	265	77	13	5,79	2,22	2,36	1,90	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0030	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9557	35 26 60	55 55 49	6,8	279	113	11	7,93	2,36	3,93	4,83	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0029	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9558	35 26 56	55 55 54	6,9	271	107	12	7,26	2,07	3,69	4,31	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0025	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9559	35 26 60	55 55 50	5,9	272	119	11	8,97	0,18	4,12	5,07	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0025	0,05	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9560	35 26 58	55 55 43	6,1	255	64	13	6,39	2,17	1,10	3,36	< 0,003	0,004	0,002	< 0,0002	0,0018	0,05	0,30	< 0,06	0,40
9561	35 26 62	55 55 48	6,0	272	124	11	8,89	2,36	4,27	5,32	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0020	0,03	< 0,12	< 0,06	0,13
9562	35 26 60	55 55 47	5,9	286	128	11	10,47	2,30	4,40	5,21	0,004	0,002	0,002	< 0,0002	0,0020	0,13	2,45	< 0,06	0,45
9563	35 26 60	55 55 44	5,9	300	88	9	4,61	2,19	1,79	5,41	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0029	0,03	< 0,12	< 0,06	0,12
9564	35 26 62	55 55 47	6,2	297	372	11	52,18	2,97	32,58	3,47	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0077	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9565	35 26 57	55 55 53	6,6	292	110	11	7,81	2,13	3,81	4,26	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0015	0,03	< 0,12	< 0,06	0,10
9566	35 26 48	55 55 66	6,6	319	107	12	7,52	2,13	3,62	4,35	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0030	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9567	35 26 41	55 55 84	6,6	318	108	12	8,33	2,21	3,78	4,37	< 0,003	0,002	0,002	< 0,0002	0,0053	0,07	0,20	0,07	0,35
9568	35 26 31	55 55 91	6,5	317	109	13	7,70	2,18	3,73	4,31	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0034	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9569	35 26 18	55 55 97	6,5	274	120	13	11,89	5,14	3,87	4,46	< 0,003	0,005	0,003	0,0003	0,0039	0,07	0,51	0,15	0,64
9570	35 26 04	55 56 08	6,5	329	111	14	7,87	2,68	3,65	4,27	< 0,003	0,001	0,001	< 0,0002	0,0034	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9571	35 26 00	55 56 15	6,6	328	112	14	8,51	2,19	3,76	4,28	< 0,003	0,002	0,002	< 0,0002	0,0032	0,04	0,20	< 0,06	0,18
9572	35 25 93	55 56 20	6,5	321	108	13	7,78	2,29	3,72	4,18	< 0,003	0,001	0,002	< 0,0002	0,0039	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9573	35 25 85	55 56 32	6,5	319	108	14	7,93	2,20	3,71	4,28	< 0,003	0,005	0,002	< 0,0002	0,0029	0,05	0,25	< 0,06	0,24
9574	35 25 75	55 56 38	6,6	326	111	21	8,92	2,28	4,14	4,37	< 0,003	0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0107	0,04	0,22	0,26	< 0,10
9575	35 25 70	55 56 43	6,6	328	118	20	16,45	2,30	4,39	4,31	< 0,003	0,005	0,002	< 0,0002	0,0084	0,07	1,41	0,28	0,20
9576	35 25 66	55 56 40	6,7	329	181	21	15,94	3,20	9,51	4,21	< 0,003	0,023	< 0,001	< 0,0002	0,0085	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9577	35 25 67	55 56 44	6,6	327	212	18	24,97	2,78	12,44	4,38	0,003	0,020	0,003	< 0,0002	0,0474	0,06	0,37	0,25	0,34
9578	35 25 61	55 56 48	6,7	324	228	18	24,31	2,76	11,82	4,32	< 0,003	0,008	< 0,001	0,0006	0,0386	0,03	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9579	35 25 54	55 56 51	6,8	333	220	18	24,63	2,68	11,29	4,40	0,003	0,013	0,001	< 0,0002	0,0346	0,16	0,14	0,12	0,18
9580	35 25 46	55 56 57	6,9	317	214	17	22,37	2,63	11,13	4,31	< 0,003	0,008	< 0,001	< 0,0002	0,0346	0,03	< 0,12	< 0,06	0,10
9581	35 25 34	55 56 56	7,0	323	212	18	22,30	2,83	11,19	4,37	< 0,003	0,010	0,002	< 0,0002	0,0346	0,02	< 0,12	0,09	0,11
9582	35 25 32	55 56 55	6,4	344	439	9	66,24	1,94	38,74	3,36	0,022	0,023	< 0,001	< 0,0002	0,2954	0,12	< 0,12	0,20	< 0,10
9583	35 25 29	55 56 56	6,3	341	436	11	69,88	1,85	37,64	3,17	0,021	0,020	< 0,001	< 0,0002	0,2836	0,13	0,17	0,16	0,18
9584	35 25 27	55 56 53	6,4	331	63	11	3,00	1,88	1,00	3,51	< 0,003	0,024	0,004	< 0,0002	0,0046	0,05	0,22	0,09	0,42
9585	35 25 26	55 56 54	6,3	322	53	11	2,98	1,84	0,82	2,41	< 0,003	< 0,001	0,002	< 0,0002	0,0048	0,06	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9586	35 25 25	55 56 55	7,0	288	49	10	3,00	2,01	0,77	2,10	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0025	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9587	35 25 24	55 56 54	7,0	292	54	10	2,74	5,60	1,09	2,80	< 0,003	< 0,001	0,001	< 0,0002	0,0190	0,01	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9588	35 25 24	55 56 52	6,8	302	46	10	2,96	2,40	0,86	1,91	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0018	0,01	< 0,12	< 0,06	< 0,10
9589	35 25 20	55 56 52	6,8	306	48	10	3,11	1,88	0,93	1,90	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,0002	0,0027	0,02	< 0,12	< 0,06	< 0,10

9590	35 25 08	55 56 59	6,9	294	351	12	71,92	2,33	32,00	2,99	0,010	0,004	0,001	<0,0002	0,2463	0,07	<0,12	<0,06	0,11
9591	35 25 02	55 56 59	7,2	276	354	12	51,26	1,82	31,48	2,85	0,010	0,003	<0,001	<0,0002	0,2376	0,04	<0,12	<0,06	<0,10
9592	35 24 97	55 56 58	7,4	285	277	13	33,33	1,93	18,51	2,80	0,007	0,002	<0,001	<0,0002	0,1853	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9593	35 24 85	55 56 56	7,4	274	269	13	32,64	2,12	18,26	2,67	0,007	0,003	<0,001	<0,0002	0,1504	0,05	<0,12	<0,06	<0,10
9594	35 24 76	55 56 60	7,5	275	263	13	32,95	2,02	18,62	2,80	0,006	0,003	<0,001	<0,0002	0,1504	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9595	35 24 68	55 56 65	7,5	267	252	14	31,13	1,98	17,26	2,73	0,007	0,003	0,001	<0,0002	0,1426	0,04	<0,12	<0,06	<0,10
9596	35 24 65	55 56 68	7,6	273	257	14	30,96	2,19	16,93	4,01	0,007	0,010	0,002	<0,0002	0,1413	0,06	0,19	<0,06	0,19
9597	35 24 56	55 56 73	7,8	256	57	13	3,88	2,11	1,20	1,94	<0,003	<0,001	0,001	<0,0002	0,0012	0,01	<0,12	<0,06	0,25
9598	35 24 59	55 56 74	7,5	270	263	14	27,94	1,97	15,85	3,72	0,005	0,001	<0,001	<0,0002	0,1399	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9599	35 24 54	55 56 76	7,6	266	224	14	20,61	2,01	12,71	3,46	0,004	<0,001	<0,001	<0,0002	0,1011	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9600	35 24 49	55 56 75	7,6	271	107	13	6,16	2,83	2,51	4,14	0,007	0,005	0,008	<0,0002	0,0035	0,01	1,23	0,20	1,46
9601	35 24 47	55 56 82	7,4	272	223	14	21,91	2,49	11,90	3,47	0,005	0,003	0,001	<0,0002	0,1122	0,05	0,18	<0,06	0,15
9602	35 24 38	55 56 86	7,5	269	216	14	21,35	2,06	12,36	3,51	0,004	<0,001	<0,001	<0,0002	0,1108	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9603	35 24 31	55 56 89	7,5	265	214	14	22,46	2,10	12,00	3,43	0,005	0,010	0,003	<0,0002	0,0984	0,04	0,13	<0,06	<0,10
9604	35 24 26	55 56 92	7,6	271	214	14	20,53	2,08	12,21	3,49	0,004	0,003	<0,001	<0,0002	0,1011	0,03	<0,12	<0,06	<0,10
9605	35 24 18	55 57 03	7,6	267	135	18	9,48	3,39	3,75	4,03	0,004	<0,001	<0,001	<0,0002	0,0011	0,01	<0,12	<0,06	<0,10
9606	35 24 20	55 56 94	7,5	264	219	23	23,00	2,19	12,52	3,24	0,007	0,002	<0,001	<0,0002	0,0691	0,01	<0,12	0,32	<0,10
9607	35 24 23	55 56 93	7,6	269	220	13	21,69	2,10	12,27	3,37	0,016	0,003	0,002	<0,0002	0,0860	0,05	0,13	<0,06	0,25
9608	35 24 03	55 57 01	7,6	262	218	15	24,00	2,16	12,78	3,17	0,018	0,003	<0,001	<0,0002	0,0551	0,03	0,12	<0,06	0,11
9609	35 24 02	55 57 04	7,6	263	222	14	24,33	2,08	12,95	2,98	0,006	0,003	<0,001	<0,0002	0,0671	0,03	<0,12	<0,06	0,11
9610	35 24 02	55 57 04	7,5	266	219	15	22,66	2,04	12,62	3,04	0,006	0,002	<0,001	<0,0002	0,0789	0,01	0,12	<0,06	<0,10
9611	35 23 86	55 57 19	7,7	260	218	16	19,98	1,92	11,78	2,91	<0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0789	0,01	<0,12	<0,06	0,10
9612	35 23 82	55 57 32	7,7	257	217	15	22,27	2,12	12,37	3,20	0,005	0,006	0,002	<0,0002	0,0769	0,03	0,15	<0,06	<0,10
9613	35 23 78	55 57 36	7,7	259	218	15	23,82	2,16	12,42	3,18	0,007	0,022	0,009	<0,0002	0,0658	0,07	1,21	0,23	0,33
9614	35 23 79	55 57 37	7,7	262	220	16	22,50	2,02	12,33	3,13	0,005	0,004	<0,001	<0,0002	0,0762	0,03	<0,12	<0,06	0,12
9615	35 23 71	55 57 73	7,7	266	218	16	22,58	2,01	12,34	3,03	0,005	0,004	0,001	<0,0002	0,0736	0,02	0,19	0,07	<0,10
9616	35 23 67	55 57 53	7,7	260	228	16	21,09	2,02	11,79	3,10	<0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0719	0,01	<0,12	<0,06	<0,10
9617	35 23 63	55 57 55	7,6	252	562	23	9,00	14,50	2,88	36,46	0,004	0,039	0,006	<0,0002	0,0060	0,05	0,47	0,46	0,53
9618	35 23 65	55 57 57	7,7	264	229	16	21,78	2,02	11,65	3,12	0,005	0,005	0,001	<0,0002	0,0672	0,02	0,23	<0,06	0,14
9619	35 23 56	55 57 85	7,7	256	233	15	19,82	2,03	11,39	3,26	<0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0645	0,02	<0,12	<0,06	<0,10
9620	35 23 40	55 58 10	7,8	257	232	16	21,66	2,09	11,89	3,06	<0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0645	0,01	<0,12	<0,06	0,14
9621	35 23 36	55 58 30	7,9	251	173	19	14,07	2,15	7,38	2,75	<0,003	0,002	<0,001	<0,0002	0,0204	0,02	<0,12	<0,06	0,15
9622	35 23 34	55 58 26	7,9	245	226	16	22,15	2,16	12,19	3,15	0,022	0,007	<0,001	<0,0002	0,0624	0,02	<0,12	<0,06	0,10
9623	35 23 22	55 58 33	7,9	251	109	19	19,40	2,14	10,45	3,00	0,004	0,002	<0,001	<0,0002	0,0591	0,01	<0,12	<0,06	<0,10

Tab. 5. Ergebnisse der Untersuchungen an Boden- und Gesteinsproben

Nr.	2006 ¹	2010 ¹	2011 ¹	2012 ¹	2013 ¹	2014 ¹	9672 ¹	9673 ¹	9672 ¹ (Eluat)	9673 ¹ (Eluat)
	[mg/kg]	[mg/l] ³	[mg/l]							
Ca	8,03	0,42	72,74	6,30	1,10	1,05	3470	776	4,0	36,36
K	-	19,53	30,84	21,43	20,95	25,28	7772	742	9,11	11,73
Mg	24,29	4,29	28,66	6,30	3,55	4,03	8738	1542	11,10	11,73
Na	4,02	3,93	48,30	8,60	6,30	7,95	408	220	2,92	9,45
Ni	328	2,00	717	120	17,50	0,80	28,42	3330	0,017	0,148
Cu	711	1,00	185	32,50	4,20	2,00	13,2	221	0,015	0,028
Pb	73	5,70	23,40	2,5	1,70	< 1,00	2,48	219	< 0,001	< 0,001
Cr	4,4	2,10	4,40	1,90	2,10	3,10	19,82	9,88	0,011	0,001
Hg	-	-	-	-	-	-	1,58	1,43	< 0,0002	< 0,0002
As	13470	1,92	316	71	18,85	8,72	336	1930	0,071	0,304
Zn	145	56	1638	279	103	135	56	873	0,03	0,62
Fe	-	-	6165	81	847	-	4995	5061	3,89	0,13
Mn	-	288	1358	1292	1180	61,5	524	2980	0,13	36,00
Cd	-	-	-	-	-	-	0,56	12,88	< 0,0005	0,0007
Co	2100	3,20	220	191	58,4	3,2	23,6	584	0,75	0,04
Tl	-	-	-	-	-	-	0,28	1,3	< 0,001	< 0,001
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,1	3,54
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	< 0,001	< 0,001
TS [%]	-	-	-	-	-	-	99,84	72,56	-	-
GR [%]	-	-	-	-	-	-	99,62	80,75	-	-
pH	-	-	-	-	-	-	7,9 ²	5,6 ²	7,7	6,5
Eh [mV]	-	-	-	-	-	-	-	-	205	230
Leitf. [μ S/cm]	-	-	-	-	-	-	-	-	141	373
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	151
NO ₃ [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	2,4	1,0
Cl [mg/l]	-	-	-	-	-	-	-	-	13,6	5,5

Tab. 6. Vergleich der Grenzwerte nach der TrinkwV. mit den im Schwarzbach und der Wiesbütte gemessenen min. und max. Werten

Element	Grenzwert gemäß TrinkwV. [mg/l]	min. Elementgeh. Schwarzbach- [mg/l]	max. Elementgeh. Schwarzbach [mg/l]	Median d. Element- gehalte im Schwarz- bach [mg/l]	Nachweisgrenze [mg/l] / Gerät
Aluminium	0,2 ± 0,04	< 0,1	1,46	-	0,1 ICP
Arsen	0,01 ± 0,005	< 0,0006	0,2954	0,01255	0,0006 MHS-10
Blei	0,04 ± 0,02	< 0,001	0,0412	-	0,001 GR-AAS
Calcium	400 ± 0,2	1,7	71,9	11,41	0,12 FI-AAS
Cadmium	0,005 ± 0,002	< 0,0005	0,024	-	0,0005 GR-AAS
Chrom	0,05 ± 0,01	< 0,001	0,027	-	0,001 GR-AAS
Eisen	0,2 ± 0,01	< 0,12	3,75	-	0,12 FI-AAS
Kalium	12 ± 0,5	0,18	18,1	2,25	0,06 FI-AAS
Kobalt	-	< 0,01	0,03	-	0,01 ICP
Kupfer	3,0 ± 0,3 ⁴	< 0,001	0,226	-	0,001 GR-AAS
Magnesium	50 ± 2	0,77	38,7	3,16	0,02 FI-AAS
Mangan	0,05 ± 0,01	< 0,06	1,25	-	0,06 FI-AAS
Natrium	150 ± 6	1,6	60	5,86	0,05 FI-AAS
Nickel	0,05 ± 0,01	< 0,003	0,042	-	0,003 GR-AAS
Quecksilber	0,001 ± 0,0005	< 0,0002	0,0103	-	0,0002 MHS-10
Silber	0,01 ± 0,004	< 0,001	< 0,001	-	0,001 GR-AAS
Thallium	-	< 0,001	< 0,001	-	0,001 GR-AAS
Zink	5,0 ± 0,5 ⁴	< 0,02	0,16	0,03	0,02 FI-AAS
Leitfähigkeit [μ S/cm]	2000	45,8	562	159	LF 90 (WTW)
pH-Wert	> 6,5 < 9,5	4,6	8,2	6,7	pH 90 (WTW)
Redox-Pot. [mV]	-	152	391	270,5	pH 90 (WTW)
Temperatur [°C]	-	3	23	-	GTH 1150 (Greisinger)

8. Schriftenverzeichnis

- Abke, W., Berheide, E. & Post, B. (1996): Beschaffenheit von Quellwässern im Spessart und im Vogelsberg und deren Beeinflussung durch saure atmosphärische Depositionen. – Vom Wasser, **86**: 95–111; Weinheim (VCH).
- Baas Becking, L. M. G., Kaplan, I. R. & Moore, D. (1960): Limits of the natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potential. – J. Geol., **68**: 243–284; Chicago, Ill.
- Binnewies, C. (1986a): Bergbau, Metallverhüttung und -bearbeitung, Salinen und Glashütten als Großverbraucher von Holz. – Festschrift 250 Jahre Forstamt Biebergemünd 1736–1986: 32–33; Biebergemünd (Forstamt).
- Binnewies, C. (1986b): Das Forstamt Biebergemünd im Jahre 1986. – Festschrift 250 Jahre Forstamt Biebergemünd 1736–1986: 15–20; Biebergemünd (Forstamt).
- Binnewies, C. (1986c): Die Waldentwicklung im Forstamt Biebergemünd – Waldnutzungen und Zielsetzungen im Wandel der Zeit. – Festschrift 250 Jahre Forstamt Biebergemünd 1736–1986: 22–31; Biebergemünd (Forstamt).
- Brookins, D. G. (1988): Eh-pH Diagrams for Geochemistry. – Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- Bücking, H. (1891a): Geologische Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000 mit Erklärungen. Lfg. 49: Bl. Bieber. – 55 S.; Berlin.
- Bücking, H. (1891b): Geologische Specialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten 1:25 000 mit Erklärungen. Lfg. 49: Bl. Lohrhaupten. – 30 S.; Berlin.
- Cancrin, F. L. (1787): Geschichte und systematische Beschreibung der in der Grafschaft Hanau Münzenberg, in dem Amte Bieber und anderen Ämtern dieser Grafschaft, auch den dieser Grafschaft benachbarten Ländern gelegenen Bergwerke, Leipzig bei Christian Gottlieb Hertel 1787. Reprint 1979; Bad Orb (Verl. Orbensien).
- Freyman, K. (1991): Der Metallerzbergbau im Spessart, Ein Beitrag zur Montangeschichte des Spessarts. – Veröff. Geschichts- und Kunstv. Aschaffenburg, **33**: XIV, 413 S.; Aschaffenburg.
- Hofmann, E.-L. (1969): Geschichte der Berg- und Hüttenwerke zu Bieber. – Natur und Museum, **99** (7): 317–328; Frankfurt am Main.
- Hofmann, E.-L. (1986): Die Geschichte des Oberen Bieber- und Lohrgrundes unter besonderer Berücksichtigung des Bieberer Bergbaues. – Festschrift 250 Jahre Forstamt Biebergemünd 1736–1986: 54–59; Biebergemünd (Forstamt).
- Mollenhauer, D. (1986): Die Landschaft im Nordspessart. – Festschrift 250 Jahre Forstamt Biebergemünd 1736–1986: 66–71; Biebergemünd (Forstamt).
- Platen, H., Turowski, S. & Strübel, G. (1996): Bestimmung von Thallium in Klärschlamm und Böden – CANAS 95 Colloquium Analytische Atomspektroskopie, hg. von Bernhard Welz, Bodensee-Perkin Elmer GmbH
- Sabel, K.-J. (1996): Gestein, Relief und Böden im Spessart. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **194**: 69–96; Frankfurt am Main.
- Schwarzmeier, J. & Weinelt, W. (1993): Geologische Karte 1:100 000 Naturpark Spessart. – Bayer. geol. L.-Amt; München.
- Senzel, H. (1994): Die Spessartbahn und ihre Bedeutung für die Bieberer Gruben. – In Horst Bindseil, Hg.: Festschrift 500 Jahre Bieberer Bergbau 1494–1994, 38–45. Biebergemünd (Abt. Kultur und Freizeit der Gemeinde).
- Worch, E. (1997): Wasser und Wasserinhaltsstoffe. Eine Einführung in die Hydrochemie; Stuttgart-Leipzig (Teubner).

Manuskript eingegangen am 30.10.1997, angenommen am 6.4.1998

¹ Probenbeschreibung siehe unter: „6.2 Beschreibung der Boden- und Gesteinsproben“

² pH in 0,1 mol/l CaCl₂

³ Das Eluat 9672 war auch nach der Filtration durch ein Membranfilter mit 0,45 µm Porendurchmesser (ME66, Schleicher & Schüll, Dassel) leicht getrübt.

⁴ nach 12 h Stagnation

Fl-AAS = Flammen-Atomabsorptionsspektrometer 2385, Fa. Perkin Elmer

MHS-10 = Mercury-Hydride-System zur Flammen-AAS 2385, Fa. Perkin Elmer

GR-AAS = Graphitrohrföfen-Atomabsorptionsspektrometer 2100 mit HGA 700, Fa. Perkin Elmer

ICP = Inductively coupled plasma, ICP-OES 138 Ultrace, Fa. Jobin-Yvonne